

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

VIGILANCIA TECNOLÓGICA DEL ESTADO DEL ARTE DE
TÉCNICAS DE ULTRASONIDO UTILIZADAS EN PRUEBAS
NO DESTRUCTIVAS PARA SOLDADURAS DE LA
INDUSTRIA AEROESPACIAL

The seal of the University of Sonora is a circular emblem. It features a central shield with a lamp of knowledge on the left and an open book on the right. Below these symbols is a banner with the motto "TODO - LO - ILUMINAN". The shield is flanked by two figures, possibly representing the university's history or values. The entire seal is surrounded by a circular border containing the text "UNIVERSIDAD DE SONORA" and the year "1942" at the bottom.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

PRESENTA:
ORTIZ RAMOS ALDO ALAIN

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

RESUMEN

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones. Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de los Ensayos No Destructivos (END) como nueva disciplina.

El uso de los END por ultrasonido en soldadura se encuentran al margen del día en diferentes sectores, entre ellos la industria aeroespacial, automotriz, construcción, manufactura, ingeniería nuclear, petroquímica, etc. en cada una de ellas se aplican ensayos no destructivos que son indispensables para obtener un cierto grado de fiabilidad de las piezas soldadas y es por ese motivo que en este trabajo se realizó un análisis y una evaluación comparativa entre las distintas técnicas, métodos o modelos de END por ultrasonido que pueden asegurar a la empresa un mejor provecho en sus materiales, así como también encontrar los tipos de defectos, el posicionamiento, tamaño, interpretación de resultados, precisión de la inspección, etc.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	6
1.1 ANTECEDENTES	6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.3 OBJETIVO GENERAL	9
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES	10
1.6 JUSTIFICACIÓN	10
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	12
2.1 INTRODUCCIÓN	12
2.2 FUNDAMENTOS DE SOLDADURA	12
2.3 CONCEPTOS DE LA TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA	14
2.3.1 Procesos de soldadura	14
2.3.2 Soldadura MIG	18
2.3.3 Soldadura TIG	19
2.3.4 La automatización en la soldadura	21
2.3.5 La soldadura mecanizada contra la automática	21
2.3.6 Tipos de soldaduras y uniones	22
2.3.7 La física de la soldadura	22
2.4 CALIDAD DE LA SOLDADURA Y SU IMPORTANCIA	23
2.4.1 Parámetros de Soldeo	23
2.4.2 Imperfecciones de las uniones soldadas	24
2.5 CRITERIOS EN LA EVALUACION DE SOLDADURAS	25
2.5.1 Inspección y Detección con Ensayos No Destructivos	25
2.5.2 Los END más Comunes	27
2.6 EL ESTADO DEL ARTE COMO UNA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	31
2.7 VIGILANCIA TECNOLÓGICA COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS	32
2.8 LA NORMATIVA DE CALIDAD EN EL SECTOR AEROESPACIAL. LAS NORMAS EN 9100.	34
CAPITULO 3 METODOLOGIA	37
3.1 HERRAMIENTA DE ANALISIS	38
CAPITULO 4 VIGILANCIA TECNOLÓGICA	44
4.1 APLICACIONES DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	44

4.2 TENDENCIAS EN I+D	45
4.3 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	48
4.4 RESULTADOS DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA	57
4.4.1 Análisis comparativo de los métodos de END por ultrasonido.....	99
CONCLUSIONES	103
REFERENCIAS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los procesos de soldadura	15
Figura 2. Formación de la EN 9100	36
Figura 3. Proceso de elaboración del proyecto (Unison - Tecnodi Advance).....	37
Figura 4. Publicaciones y citas de los elementos indexados en todas las bases de datos de ISI web of knowledge.....	45
Figura 5. Total de citas de las publicaciones de los últimos 5 años.....	46
Figura 6. Elementos publicados por año	47
Figura 7. País de origen de las publicaciones	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pruebas para detectar discontinuidades	31
Tabla 2. Ciclo de actividades para la VT.....	38
Tabla 3. Lista de temas y aplicaciones de I+D en END ultrasónica.....	48
Tabla 4. Temas, Autores y Universidades dedicadas a la investigación de métodos de END para soldadura	50
Tabla 5. Comparación entre los diferentes métodos publicados los últimos 5 años	98

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La importancia del análisis del estado del arte en el desarrollo de tecnologías es fundamental ya que con la recolección de información disponible hasta el momento, se puede presentar el más alto nivel de desarrollo dentro de un área específica de investigación, las metodologías empleadas, conclusiones que se obtuvieron y las propuestas de solución de quienes analizan el tema, con la condición de que sea novedoso, es decir, no se repita lo ya hecho.

El impacto que se tiene al realizar el análisis del estado del arte también sirve como apoyo para el desarrollo y/o implementación de nuevas tecnologías en las empresas, mejorando de forma significativa sus procesos, por tal motivo se realizó este estudio con el fin de beneficiar a empresas del sector aeroespacial.

Esta investigación tiene el fin de apoyar a Tecnodí Advance S.A. de C.V. el cual tiene la necesidad de mejorar sus procesos ya sea por medio de tiempos, costos, calidad en sus técnicas, etc. La finalidad de Tecnodí Advance es prestar servicios integrales y soporte técnico en áreas de ingeniería e investigación, mediante la conceptualización, diseño, desarrollo y puesta en marcha de nuevos productos, que sean capaces de contribuir a mejorar los procesos productivos que actualmente se llevan a cabo en el sector industrial. Entre los sectores que atiende actualmente se encuentra el sector aeroespacial.

La presente investigación se enmarca dentro del proyecto *“Diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo automatizado flexible para análisis y caracterización no destructiva de propiedades físicas estructurales en componentes manufacturados para el sector industrial aeroespacial, a través de la técnica de ultrasonido industrial”*, el cual está vinculado entre Tecnodí Advance S.A. de C.V. y la Universidad de Sonora, y tiene como objetivo desarrollar un prototipo que sea capaz de capturar, procesar y desplegar resultados provenientes de la inspección

de la inspección por Ultrasonido Industrial de manera clara, además de contar con una interface o plataforma de operación sencilla.

Esta tesis se encarga de revisar el estado del arte de las técnicas de ultrasonido industrial utilizadas en pruebas no destructivas en soldaduras para la industria aeroespacial, y se encuentra orientada a la vigilancia tecnológica, análisis y descripción de diferentes tipos de métodos de ultrasonido industrial mediante un estudio comparativo que describe las ventajas y desventajas de cada uno.

Los resultados de esta investigación contribuirán a que los procesos dentro del sector aeroespacial puedan mejorar su calidad, al mismo tiempo que se contribuye con información valiosa para la detección de nuevos productos y tecnologías potenciales a desarrollar por parte de la empresa.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento exponencial y sostenido que actualmente experimenta la industria aeroespacial y la búsqueda constante de optimizar los procesos que se llevan a cabo en este sector para lograr la reducción de costos operativos y de producción, son razones que motivan a las empresas a incursionar en la investigación científica para lograr identificar, definir y desarrollar nuevas formas, métodos, técnicas y metodologías que propicien la generación de nuevas aplicaciones tecnológicas, equipos y sistemas para el desarrollo de operaciones críticas dentro de la industria aeroespacial.

De acuerdo con la empresa Tecnodí Advance, la mayor parte de la industria aeroespacial mexicana no cuenta con equipos que funcionen de manera automatizada y sean capaces de lograr aumentar la eficiencia de la aplicación de evaluaciones no destructivas al intervenir diversos tipos de errores. Tal es el caso del error humano, que eleva la probabilidad de fallar en la inspección y disminuir el nivel de eficiencia de los procesos que actualmente se llevan a cabo, lo que resulta en una alta probabilidad de no cumplir con los niveles de calidad. Además se debe asegurar que la inspección por métodos no destructivos sea la correcta y

acceso adecuado a fin de identificar los defectos de las soldaduras que pudieran estar presentes.

Tecnodi Advance, (2014) hace mención sobre que las empresas aeroespaciales solamente manejan los requerimientos básicos en los procesos de inspección de soldaduras, lo que conlleva varias desventajas, entre ellas las siguientes:

- Los procesos de limpieza de las piezas a inspeccionar se llevan a cabo de manera manual, por lo que se requiere la atención completa de un operador para poder cumplir con los tiempos establecidos y evitar daños en las piezas al estar en contacto con soluciones químicas que pueden llegar a atacar la superficie de las piezas por periodos de tiempo mayores a los permitidos.
- Al no contar con un control de movimiento o trayectoria para la inspección de áreas críticas, no se puede garantizar la inspección de dichas áreas pues se realiza de manera manual, por lo que ciertas áreas pueden quedar sin ser inspeccionadas.
- Debido a que la prueba se lleva a cabo de manera manual, no se puede garantizar la uniformidad en la inspección entre una pieza y otra.
- Pueden llegar a presentar la necesidad de inspeccionarse de nueva cuenta piezas que puedan considerarse dudosas debido a la falta de un esquema estándar de inspección.
- Como agente acoplante se utilizan por lo general acoplantes de contacto, lo cual no garantiza que las superficies estén totalmente preparadas para realizar la prueba a través del envío y recepción de ondas ultrasónicas.
- Debido a que la prueba no se puede realizar de una manera controlada, los resultados pueden variar entre inspectores y arrojar conclusiones de evaluación erróneas.
- Los resultados no se despliegan de una manera exacta, por lo que la efectividad de esta evaluación depende prácticamente en su totalidad de la experiencia del operador, quien necesariamente debe contar con un nivel de preparación elevado que le permita realizar una evaluación apegada a las especificaciones aplicables.

- El error humano es un factor que tiene presencia de manera constante al tratarse de un proceso manual en su totalidad, incrementando el riesgo de falla, repercutiendo en los niveles de calidad de la empresa al existir una mayor probabilidad de fallas en la detección de material no conforme.
- Por la forma de procesamiento, la evaluación puede llegar a considerarse un cuello de botella en el proceso de manufactura al llevarse a cabo en periodos prolongados para lograr una correcta conclusión al interpretar lo que el análisis presenta y tener que evaluar de nuevo aquellas piezas que se consideren dudosas.

Por lo descrito anteriormente, es prudente realizar un análisis del estado del arte, que provea información a la empresa tenga un punto de partida, ya que para ofrecer una solución innovadora es necesario el conocimiento de las últimas tecnologías desarrolladas.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Conocer los diferentes tipos de procesos y técnicas de pruebas no destructivas por ultrasonido industrial que puedan ser aplicables a la industria aeroespacial como herramienta para asegurar la calidad en sus procesos de soldadura..

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un análisis literario en fuentes de divulgación científica de los diferentes tipos de métodos de ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura.

Analizar las características y aplicaciones de los diferentes tipos de métodos de ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura.

Identificar tendencias de investigación, países y autores que desarrollan métodos para el uso de ultrasonido industrial en pruebas no destructivas de soldadura.

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

Esta investigación identifica y explica las diferencias de los métodos de ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura mediante búsquedas bibliográficas y en artículos científicos de los últimos 5 años.

Una de las principales limitaciones de la investigación es el corto tiempo de desarrollo ya que la fecha a presentar resultados es en noviembre, este obstáculo puede afectar en la profundidad de análisis de la investigación, ya que quizá no podamos hacerlo de forma tan extensiva.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Según la información publicada por INADEM (Consultado en Julio, 2014), en el Estado de Sonora se prevé que un sector estratégico sea equipo y servicio aeroespacial. Actualmente se llevan a cabo diversos proyectos en este ámbito, en los cuales es utilizada la soldadura, un proceso donde los parámetros que se deben controlar para asegurar su integridad estructural, no se pueden inspeccionar fácilmente y pueden ponerse de manifiesto sólo durante la utilización del producto. Es difícil y costoso verificar las propiedades del material a soldar, del metal de la soldadura y de la zona afectada térmicamente. Los procesos que presenta estas características reciben el nombre de “procesos especiales” en la norma ISO 9000 (Casals, Salueña, y Ortiz 2003).

Detectar a tiempo las discontinuidades, defectos e imperfecciones de los cordones de soldadura puede marcar la diferencia entre uniones seguras, y aquellas potencialmente riesgosas o susceptibles de siniestralidad. Es por ello, que la realización de ensayos no destructivos para verificar el estado de la soldadura y de las piezas a las que pertenece, se ha convertido en una de las prácticas más utilizadas actualmente (Ruiz Rojas, 2003).

La importancia del análisis del estado del arte es mostrar los últimos avances de la tecnología de ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura buscando dentro de bases de datos especializadas, lo que permitirá estudiar cuáles

son las ventajas y desventajas de cada tecnología obtenida en el estudio. La contribución al estado del arte será útil para futuras investigaciones, comunidades científicas, público en general, etc.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Aunque se conoce el empleo de los metales desde hace miles de años, nadie conoce con seguridad como se obtuvo el primer metal provechoso. Pudo ser a partir de restos de meteoritos o, más posiblemente, al calentar inadvertidamente minerales que contenían cobre, lográndose una masa de cobre impuro que fácilmente podía conformarse. Independientemente de su causa, la antigüedad del uso de los metales ha sido corroborada por los descubrimientos de distintas piezas de bronce. Hachas, puntas de lanza y ornamentos han sido extraídos de antiguos emplazamientos humanos y los arqueólogos han podido probar que fueron fabricados y usados durante el lapso que se conoce como Edad de Bronce (Hernández Riesco, 2012).

2.2 FUNDAMENTOS DE SOLDADURA

Uno de los usos más comunes dentro de los metales es el de la **soldadura** que se define como un proceso de unión permanente de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes por medio de la aplicación conveniente de calor, presión o ambas a la vez. La integración de las partes que se unen gracias a la soldadura se denomina un ensamble soldado. En determinados casos se añade un material de aporte o relleno para proporcionar la fusión. La soldadura se incorpora por lo regular con partes metálicas, pero el procedimiento también se utiliza para unir plásticos (Carrasco, 2004).

Carrasco (2004) nos afirma que la soldadura es un procedimiento relativamente nuevo. Su trascendencia comercial y tecnológica se deriva de lo siguiente:

- “La soldadura proporciona una unión permanente. Las partes soldadas se vuelven una sola unidad.

- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales si se usa un metal de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales y se emplean las técnicas de soldadura adecuadas.
- En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación, los métodos mecánicos alternativos de ensamble requieren alteraciones más complejas de las formas (por ejemplo, taladrado de orificios) y adición de sujetadores (remaches o tuercas). El ensamble mecánico resultante por lo general es más pesado que la soldadura correspondiente.
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo.”

Si bien la soldadura tiene las ventajas indicadas, también tiene algunas limitaciones y desventajas (o desventajas potenciales):

- “La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan en forma manual y son elevadas en términos de costo de mano de obra. Muchas operaciones de soldadura se consideran cuestiones especializadas y no son muchas las personas que las realizan.
- Casi todos los procesos de soldadura implican el uso de mucha energía, y por consiguiente son peligrosos.
- Dado que la soldadura obtiene una unión permanente entre los componentes, no permite un desensamble adecuado. Si se requiere un desensamble ocasional de producto (para reparación o mantenimiento), no debe usarse la soldadura como método de ensamble.
- La unión soldada puede padecer ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar. Los defectos pueden reducir la resistencia de la unión.” (ibid.)

2.3 CONCEPTOS DE LA TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA

La soldadura implica la fusión o unión de dos partes metálicas en sus superficies empalmantes. Las superficies empalmantes son las superficies que están conectadas entre sí o están muy cercanas para ser unidas. Comúnmente, la soldadura se ejecuta en partes del propio metal, pero es factible utilizar varias operaciones para unir metales distintos (Hernández Riesco, 2012).

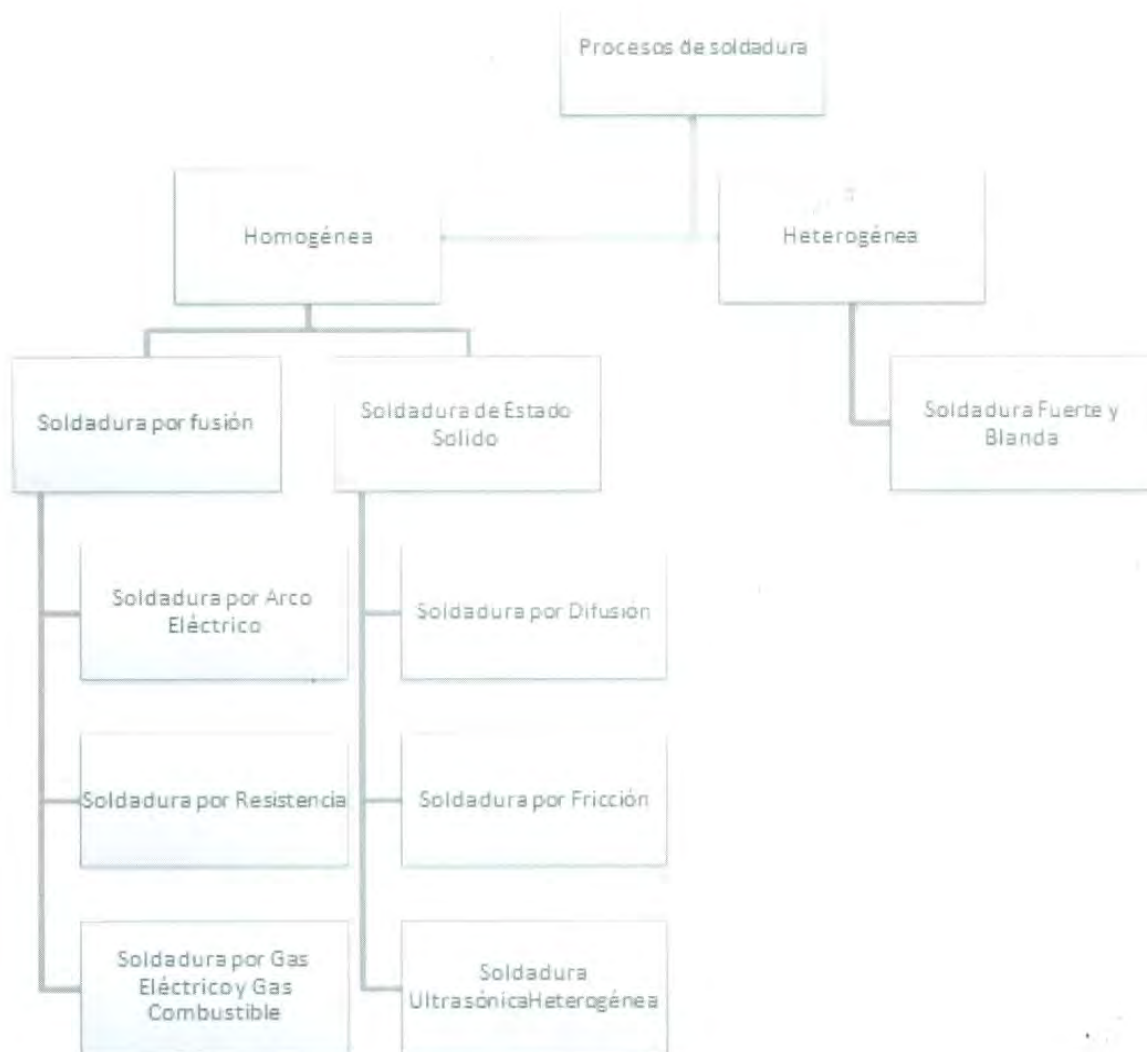
2.3.1 Procesos de soldadura

Cada procedimiento de soldadura ha sido creado para solucionar un problema determinado o para satisfacer una necesidad en particular (Asta, 2006).

Una soldadura puede ser homogénea o heterogénea. Como un caso de soldadura homogénea podemos citar la adquirida al llevar a cabo el soldeo de dos piezas de acero de composición similar sin utilizar metal de aporte, o utilizando un metal de aporte de la misma naturaleza que la de las piezas a unir. Como un caso de soldadura heterogénea, se puede citar la adquirida al llevar a cabo el soldeo de dos piezas de fundición usando como metal de aporte una aleación de níquel, o bien llevando a cabo el soldeo entre dos piezas de diferente material utilizando como aporte otro material distinto (Hernández Riesco, 2012).

Sin embargo la American Welding Society (Sociedad Norteamericana de Soldadura, AWS por sus siglas en inglés) ha nombrado más de 50 tipos de operaciones distintas que usan numerosos tipos o combinaciones de energía para entregar la energía necesitada. Y mencionan que es posible dividir los procesos de soldadura de AWS en tres grupos principales: a) soldadura por fusión, b) soldadura de estado sólido, c) soldeo fuerte y blando (Carrasco, 2004; Hernández Riesco, 2012) (ver Figura 1).

Figura 1. Clasificación de los procesos de soldadura



Fuente: Elaboración propia con base en carrasco y Hernández Riesco, 2004 y 2012.

a) Soldadura por fusión Los procedimientos de soldadura por fusión utilizan calor para fundir los metales base. En bastantes operaciones de soldadura por fusión, se agrega un metal de aporte a la combinación fundida para simplificar el procedimiento de unión y aportar volumen y resistencia a la parte soldada. Un trabajo de soldadura por fusión en la cual no se agrega un metal de aporte se denomina soldadura autógena (Carrasco, 2004). Asimismo siempre se provoca la fusión del metal base y la del de aportación cuando éste se utiliza. Es decir, siempre existe una fase líquida hecha sólo por metal base, o por metal base y de aportación. (Hernández Riesco, 2012).

Carrasco (2004) afirma las siguientes categorías de soldadura por fusión:

- “*Soldadura con arco eléctrico, SAE (en inglés AW)*. La soldadura con arco eléctrico hace referencia a un grupo de procesos de soldadura en los cuales el calentamiento de los metales se obtiene mediante un arco eléctrico. Algunas de las operaciones de soldadura con arco eléctrico también aplican presión durante el proceso, y la mayoría utiliza un metal de aporte.
- *Soldadura por resistencia, SR (en inglés RW)*. La soldadura por resistencia obtiene la fusión usando el calor de una resistencia eléctrica para el flujo de una corriente que pasa entre las superficies de contacto de dos partes sostenidas juntas bajo presión.
- *Soldadura con oxígeno y gas combustible, SOGC (en inglés OFW)*. Estos procesos de unión usan un gas de oxígeno combustible, tal como una mezcla de oxígeno y acetileno, con el propósito de producir una flama caliente para fundir la base metálica y el metal de aporte en caso de que se utilice.
- *Otros procesos de soldadura por fusión*. Además de los tipos anteriores hay otros procesos de soldadura que producen la fusión de los metales unidos. Los ejemplos incluyen la soldadura con haz de electrones y la soldadura con rayo láser.”

b) Soldadura de estado sólido Los procedimientos de soldadura de estado sólido utilizan presión o una combinación de calor y presión. Si se utiliza calor, la temperatura del procedimiento está por debajo del punto de fusión de los metales que se van a soldar. No se usa un metal de aporte en estos procedimientos (ibíd.). Son aquéllos en los que jamás se crea la fusión del metal base, ni la del de aportación cuando éste se utiliza. Es decir, nunca existe una fase líquida (Hernández Riesco, 2012).

Carrasco (2004) afirma algunos de los procesos más representativos:

- “*Soldadura por difusión, SD (en inglés DFW)*. En la soldadura por difusión, se colocan juntas dos superficies bajo presión a una temperatura elevada y se produce la coalescencia de las partes por medio de fusión de estado sólido.

- *Soldadura por fricción, SF (en inglés FRW)*. En este proceso, la coalescencia se obtiene mediante el calor de la fricción entre dos superficies.
- *Soldadura ultrasónica, SU (en inglés USW)*. La soldadura ultrasónica se realiza aplicando una presión moderada entre las dos partes y un movimiento oscilatorio a frecuencias ultrasónicas en una dirección paralela a las superficies de contacto. La combinación de las fuerzas normales y vibratorias produce intensas tensiones que remueven las películas superficiales y obtienen la unión atómica de las superficies.”

Carrasco (2004) nos rectifica las siguientes principales aplicaciones de la soldadura tales como: “1) la construcción de edificios, puentes, estructuras metálicas, etc.; 2) la producción de tuberías con costura, recipientes para presión, calderas, tanques de almacenamiento, etc.; 3) la construcción naval; 4) la industria de la aeronáutica y espacial; 5) los automóviles y los ferrocarriles. La soldadura se realiza en grandes industrias pero también, por su facilidad de manipulación para de los procesos tradicionales, se lo realiza en distintos lugares (terreno al aire libre un garaje un taller común) y no se limitan a una fábrica”.

c) Procesos de soldeo fuerte y blando Son aquéllos en los que siempre se genera la fusión del metal de aportación, sin embargo no la del metal base. Es decir, siempre existe una fase líquida formada únicamente por metal de aportación. La diferencia entre soldeo fuerte y soldeo blando proviene en que en el soldeo fuerte el metal de aportación funde por arriba de 450°C entretanto que en el soldeo blando el material de aportación funde a 450°C o a temperaturas inferiores (Hernández Riesco, 2012).

Asta (2006) afirma que todos los procesos de soldadura realizan de una u otra manera, tres funciones principales:

“1- Una fuente de calor que lleva al material a la temperatura a la cual puede ser soldado.

2- Una fuente de protección del cordón o punto de soldadura para prevenir su contaminación que puede provenir de diferente origen.

3- Una fuente de producción de elementos químicos que puede alterar beneficiosa o perjudicialmente la naturaleza del metal a soldar”.

Para usos prácticos de esta investigación solamente haremos hincapié en el proceso de fase líquida, ya que es el que utiliza actualmente la empresa TECNODI, específicamente soldadura MIG Y TIG.

2.3.2 Soldadura MIG

La soldadura metálica con arco eléctrico y gas o Soldadura MIG (Metal Inert Gas) también conocida como Gas Arco Metal o MAG es un procedimiento en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se logra inundando el arco eléctrico con un gas.

Los generadores más apropiados para la soldadura por el procedimiento MIG son los rectificadores y los convertidores (aparatos de corriente continua). La corriente continua con polaridad inversa incrementa la fusión del hilo, mejora el poder de penetración, muestra una excelente acción de limpieza y es la que concede obtener mejores resultados (Carrasco, 2004).

Carrasco, (2004) nos indica los siguientes beneficios del sistema MIG:

- “1. No genera escoria.
2. Alta velocidad de deposición.
3. Alta eficiencia de deposición.
4. Fácil de usar.
5. Mínima salpicadura.
6. Aplicable a altos rangos de espesores.
7. Baja generación de humos.
8. Es económica.

9. La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
10. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
11. Rapidez de deposición.
12. Alto rendimiento.
13. Posibilidad de automatización.”

Hernández Riesco, (2012) señala las siguientes limitaciones:

- “El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de la soldadura metálica con arco protegido (SMAW). Es complicado de usar en espacios restringidos, necesita conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede utilizarse en lugares relativamente apartado de la fuente de energía.”

2.3.3 Soldadura TIG

La soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, STAEG (en inglés gas tungsten arc welding, GTAW), es un procedimiento que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco eléctrico. Con frecuencia, este procedimiento se denomina soldadura de tungsteno con gas inerte (en inglés tungsten inert gas welding, TIG welding) El proceso de TIG puede emplearse con o sin un metal de relleno (Carrasco, 2004). Usa como fuente de energía el arco eléctrico que se determina entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, al mismo tiempo un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación, cuando se usa, se maneja por medio de varillas como en el soldeo oxiacetilénico (Hernández Riesco, 2012).

Hernández Riesco, (2012) menciona las siguientes ventajas y limitaciones del proceso TIG:

Ventajas

- “Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.

- Arco estable y concentrado
- Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.
- No se producen proyecciones (al no existir transporte de metal en el arco).
- No se produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3-4 mm.
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- No requiere el empleo de fuente de energía excesivamente caras.
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación."

Limitaciones

- "La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco (en el soldeo automático esta desventaja se puede solucionar con la técnica de alambre caliente).
- Su aplicación manual exige, en general, gran habilidad por parte del soldador.
- No resulta económico para espesores mayores de 10 mm.
- En presencia de corrientes de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura."

La soldadura TIG fue generada inicialmente con la intención de soldar metales anticorrosivos y otros metales difíciles de soldar, no obstante a través del tiempo, su utilización ha crecido incluyendo tanto soldaduras como revestimientos endurecedores (hardfacing) en prácticamente todos los metales utilizados comercialmente (Carrasco, 2004).

Dado que la atmósfera está aislada 100% del área de soldadura y un control muy fino y preciso de la aplicación de calor, las soldaduras TIG, son más fuertes, más dúctiles y más resistentes a la corrosión que las soldaduras realizadas con el proceso ordinario de arco manual (electrodo cubierto). También el hecho de que no se necesita ningún fundente, hace este tipo de soldaduras aplicable a una amplia gama de diferentes procesos de unión de metales (Carrásco, 2004).

2.3.4 La automatización en la soldadura

Debido a los riesgos existentes de la soldadura manual y los requerimientos de incrementar la productividad y aumentar la calidad de los productos, se han creado distintas formas de automatización. Las categorías incluyen la soldadura con máquina, la soldadura automática y la soldadura robótica (Carrasco, 2004).

2.3.5 La soldadura mecanizada contra la automática

Se denomina como una soldadura mecanizada al equipo que realiza el trabajo bajo la supervisión continua de un operador. Regularmente se logra gracias a una cabeza para soldadura que se mueve de forma mecánica. El empleado a cargo debe examinar continuamente e interactuar con el equipo para controlar la operación (ibíd.).

Si el equipo es apto de realizar la operación sin el ajuste de los controles por parte de un operador humano, se denomina una *soldadura automática*. Una persona siempre está presente para monitorear el procedimiento y detectar variaciones de las condiciones normales. Lo que diferencia la soldadura automática de la soldadura con máquina es un controlador de la fase de soldadura, que regula el movimiento del arco eléctrico y la posición de la pieza de trabajo sin atención humana continua. La soldadura automática necesita una instalación o un posicionador de soldadura para insertar el material de trabajo en relación con la cabeza de soldador. Además necesita en mayor grado de consistencia y precisión en las partes componentes utilizadas en el procedimiento. Es por eso que, la soldadura automática únicamente se justifica para producción de cantidades grandes (ibíd.).

2.3.6 Tipos de soldaduras y uniones

La soldadura genera una unión sólida entre dos partes. En esta sección, se examinará el tema de las uniones por soldadura, los tipos de uniones y los distintos tipos de soldaduras que se utilizan para unir las partes (ibíd.).

Todas las uniones se hacen a través de la soldadura. Asimismo es factible utilizar otros procedimientos para determinados tipos de uniones, aunque la soldadura es el método de mayor aplicación. Es adecuado distinguir entre el tipo de unión y el tipo de soldadura que se emplea en la unión. Las distinciones entre los tipos de soldadura están en la geometría y el procedimiento de soldadura (ibíd.).

Carrasco, (2004) afirma que hay cinco tipos básicos de uniones para integrar dos partes de una junta:

a) Unión empalmada. En este tipo de unión, las partes se encuentran en el mismo plano y se unen en sus bordes.

b) Unión de esquina. Las partes en una unión de esquina forman un ángulo recto y se unen en la esquina del ángulo.

c) Unión superpuesta. Esta unión consiste en dos partes que se superponen.

d) Unión de bordes. Las partes en una unión de bordes están paralelas con al menos uno de sus bordes en común y la unión se hace en el borde común.

e) Unión en T. En la unión en T, una parte es perpendicular a la otra en una forma parecida a la letra T."

2.3.7 La física de la soldadura

Aunque hay algunos mecanismos para fundir la soldadura, la fusión es por mucho el método más usual. Para conseguir la fusión, se emplea una fuente de energía calorífica de alta densidad a las superficies que se van a empalmar y las temperaturas resultantes son suficientes para producir la fusión localizada de los metales base. Si se añade un metal de aporte, la densidad calorífica será incluso

suficientemente alta para fundirlo. La densidad calorífica se define como la energía transferida al trabajo por unidad de área de superficie, esto es, W/mm^2 . El tiempo para fundir el metal es inversamente proporcional a la densidad de la potencia. A bajas densidades de potencia, se necesita una gran cantidad de tiempo para generar la fusión (ibíd.).

2.4 CALIDAD DE LA SOLDADURA Y SU IMPORTANCIA

El propósito de cualquier proceso de soldadura es unir dos o más componentes en una sola estructura. Por tanto, la integridad física de la estructura formada depende de la calidad de la soldadura. En esta sección analizamos algunos de los aspectos relacionados con la calidad de la soldadura. La revisión se enfoca principalmente en la soldadura con arco eléctrico, el proceso más difundido y para el cual el aspecto de la calidad es el más importante y complejo (Carrasco, 2004).

2.4.1 Parámetros de Soldeo

Los parámetros fundamentales que entran a formar parte de las características del soldeo y por tanto de la calidad de la soldadura son:

- Tensión.
- Velocidad de alimentación del alambre.
- Longitud visible del alambre o "extensión".
- Velocidad de desplazamiento.
- Polaridad.
- Ángulo de inclinación de la pistola.
- Gas de protección.

El conocimiento y control de estos parámetros es esencial para obtener soldaduras de calidad (Hernández Riesco, 2012).

2.4.2 Imperfecciones de las uniones soldadas

Las imperfecciones son anomalías o irregularidades que se muestran en la unión soldada. Se consideran como defecto cuando por su magnitud o localización puedan provocar el fallo de la unión.

La porosidad es una de las razones más continuamente citadas de una soldadura miserablemente ejecutada, Es originado por el exceso de oxígeno de la atmósfera, formada por gas utilizado en el procedimiento y de cualquier contaminación en el metal base, que, mezclado con el carbón en el metal soldado forma pequeñas burbujas de monóxido de carbono (CO). Determinadas de estas burbujas de CO pueden permanecer atrapadas en la soldadura fundida luego que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad.

Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y, por consiguiente, la porosidad. Para lograr esto, algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr) (Carrasco, 2004).

Las causas que pueden originar estas imperfecciones son entre otras una inadecuada:

- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura.
- Soldabilidad del metal base.
- Elección de los consumibles (gases, metal de aporte...).

Los principales defectos que se producen en el soldeo por fusión están clasificados en la norma UNE-EN 26520 en los siguientes grupos:

1. Grietas o fisuras.

2. Sopladuras y poros.
3. Inclusiones sólidas, (escoria, óxidos, inclusiones de wolframio o de cobre...)
4. Falta de fusión.
5. Falta de penetración.
6. Imperfecciones de forma.
7. Otras imperfecciones.

Una soldadura con imperfecciones puede cumplir o no una norma, es decir podrá ser aceptada o ser rechazada. Se aceptará si las dimensiones de sus defectos están por debajo de lo establecido (Hernández Riesco, 2012). Dado las regulaciones y normas que la empresa Tecnodí Advance debe cumplir como proveedor del sector aeroespacial, en esta investigación se tomarán en cuenta los criterios establecidos para el cumplimiento de la norma EN 9100.

2.5 CRITERIOS EN LA EVALUACION DE SOLDADURAS

2.5.1 Inspección y Detección con Ensayos No Destructivos

Existen diferentes procedimientos para inspeccionar las uniones y piezas soldadas, algunos de ellos hacen parte del grupo conocido como "ensayos no destructivos", métodos que, sin lesionar la pieza evaluada, posibilitan la detección de discontinuidades y brindan datos precisos sobre el estado y la calidad de los cordones de soldadura (Casals, Salueña, y Ortiz 2003).

Los END (ensayos no destructivos) denominados a su vez como NDT (Non Destructive Testing) por sus siglas en inglés, son pruebas que se practican, entre otros, para encontrar las discontinuidades en las soldaduras, con el objetivo de conocer datos relevantes sobre su estado y calidad. Este tipo de ensayos, que se realizan gracias a la aplicación de pruebas físicas tales como ondas electromagnéticas, acústicas y elásticas, emisión de partículas subatómicas y capilaridad, entre otras, se consideran no destructivos, ya que su práctica no representa ningún riesgo real para el objeto en estudio, ni altera de modo

permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas ni dimensionales (Casals, Salueña, y Ortiz 2003).

Los END pueden utilizarse en cualquier etapa del procedimiento, bien sea para controlar la calidad de la materia prima, durante los procedimientos de producción y fabricación, como medio de control de calidad en las salidas de producción, o como método de inspección durante esquemas y servicios de mantenimiento. Este tipo de ensayos, permiten aplicarse en uniones soldadas, materiales, productos y objetos de áreas industriales tan diferentes como la petroquímica, naval, automotriz, aeronáutica, construcción o la térmica, es decir, en cualquier pieza o componente soldado (Ruiz Rojas, 2003).

Los END son de gran interés al momento de examinar las uniones y piezas soldadas, ya que este tipo de pruebas pueden no sólo determinar la calidad y características de la soldadura, sino que también pueden alertar sobre la presencia de discontinuidades en la misma, y ofrecer información tan relevantes como el tamaño, la forma y la situación de dichos fallos (Ruiz Rojas, 2003).

En este punto es preciso despejar que las END se clasifican en tres grandes grupos, que las reúnen de acuerdo al área o superficie que permiten inspeccionar y al alcance en cuanto a la detección de daños. El grupo denominado "pruebas no destructivas superficiales", está conformado por los ensayos de inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas o electromagnetismo, sólo muestran información sobre la superficie de la soldadura; el llamado "pruebas no destructivas volumétricas", formado por las técnicas de radiografía industrial, ultrasonido industrial y emisión acústica, detecta las discontinuidades internas y sub superficiales; y el grupo conocido como "pruebas no destructivas de hermeticidad", compuesto por pruebas de fuga, cambio de presión (neumática o hidrostática), burbuja, espectro de masas y fugas con rastreadores de hidrógeno, brinda información acerca del grado en que permiten ser contenidos los fluidos en recipientes sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control (Ruiz Rojas, 2003).

2.5.2 Los END más Comunes

Según Ruiz Rojas, (2003) Entre los ensayos no destructivos que se utilizan con mayor frecuencia para inspeccionar soldadura se encuentran:

Ensayo Visual (VT): Como su nombre lo indica, es una prueba que se emplea por medio de un procedimiento de inspección visual y ofrece información al instante del área evaluada. Aunque su práctica es sencilla, necesita de personal calificado, capaz de comparar los datos obtenidos en la superficie del cordón de soldadura, con los estándares nacionales e internacionales que determinan la aceptabilidad y calidad de una unión soldada. Es por esta razón, que varios organismos que vigilan y regulan las buenas prácticas de soldeo como la AWS, recomiendan que este tipo de ensayo sea practicado por inspectores capacitados y certificados que se ciñan a la normatividad preestablecida (Ruiz Rojas, 2003).

Para la práctica de este ensayo, también de agudeza y destreza visual, el inspector requiere elementos como lupas, linternas, espejos, e instrumentos de medición como flexómetros y reglas. Mediante este método se puede examinar sobre todo, aspectos relacionados con la dimensión del cordón, su longitud y todas aquellas imperfecciones superficiales que pueden, a futuro, causar fallas de resistencia y fatiga del material o de las uniones soldadas. Según la AWS, este tipo de ensayo aunque confiable, sólo puede reconocer discontinuidades que se muestran en la superficie del cordón, por lo tanto y la mayoría de las veces; éste debe ir acompañado o complementarse con otro tipo de inspecciones o ensayos no destructivos (Ruiz Rojas, 2003).

Líquidos Penetrantes (PT): este proceso se realiza básicamente para detectar discontinuidades en materiales sólidos no porosos como el acero inoxidable, aluminio y sus aleaciones, cobre, bronce y latón; también, es uno de los métodos no destructivos más utilizados en la inspección de soldadura y sus acabados. Este ensayo se basa en el principio físico conocido como capilaridad, y se emplea, básicamente, gracias a la aplicación sobre la superficie a inspeccionar por inmersión, brocha, pincel o pulverización, de líquidos de baja tensión superficial que

penetran los poros y son retenidos en las discontinuidades y fisuras. Se distingue como uno de los ensayos no destructivos más beneficiosas, porque es económico, fácil de realizar, no necesita de equipos complejos ni costosos, puede inspeccionar la totalidad de la superficie de la pieza sin importar su geometría ni tamaño, y revela de manera inmediata los defectos. No obstante, también presenta limitaciones, ya que no puede utilizarse en materiales porosos, ni en superficies o piezas pintadas o con algún tipo de recubrimiento protector, pues hay posibilidades de afectar el material o el recubrimiento con los líquidos. Es una prueba que se permite emplear de forma automatizada o manual y que requiere de examinadores o inspectores con experiencia extensa y certificada. Además en combinación con luz negra, muestra las discontinuidades como indicaciones luminosas de alto contraste.

Partículas Magnéticas (MT): por medio de este método se puede determinar las discontinuidades que se encuentran sobre o justamente debajo de la superficie. Es una prueba que se puede llevar a cabo en piezas de tamaño y forma variable, superficies con acabados soldados y en todo tipo de metales ferrosos. Para emplear esta prueba es conveniente someter el cordón de soldadura a una magnetización o flujo magnético y espolvorear sobre él, partículas finas de material ferro magnético o polvo de hierro. Si en algún lugar de la superficie examinada se desarrolla un campo de fuga que atrae hacia éste, el polvo de hierro, es porque presenta una imperfección o discontinuidad. Este ensayo es de gran utilidad a la hora de determinar imperfecciones superficiales y sub superficiales; sin embargo, tiene varias limitantes asociadas con la dirección de las discontinuidades, ya que sólo determina las ubicadas perpendicularmente al campo, también sólo permiten emplearse a materiales ferro magnéticos, y tiene una capacidad de penetración limitada (Ruiz Rojas, 2003).

Radiografía o Rayos X (RT): según Ruiz Rojas (2003) los rayos Gamma, denominados además como rayos "X", tienen la propiedad de atravesar los materiales opacos sin reflejarse ni refractarse, para producir una impresión fotográfica. Esta cualidad de los rayos gamma, pueden inspeccionar internamente los cordones de soldadura y determinar irregularidades como grietas, bolsas e

inclusiones, entre otros, ya que dichas discontinuidades absorben las radiaciones en distintas proporciones del material base y crean un tipo de contrastes “claro–oscuro”, que puede identificarlas fácilmente en las radiografías. De acuerdo a la disposición de los equipos que intervienen en la emisión de los rayos “X”, existen las siguientes técnicas de ensayo:

- **“Técnica de pared simple:** Se llama de esta forma porque emplea la interpretación de la pared que está más próxima o cercana a la película fotográfica. Es la técnica que se usa con más frecuencia por ser la de más fácil interpretación.
- **Técnica de pared doble vista simple:** aunque el rayo atraviesa dos paredes de la pieza, sólo se proyecta sobre la película radiográfica más cercana a la pieza.
- **Técnica de pared doble vista doble:** la radiación atraviesa dos paredes de la pieza y las proyecta sobre la radiografía.
- **Técnica de exposición panorámica:** en ésta, la fuente de radiación se ubica en un punto equidistante de la superficie y la película radiográfica.”

Se dice que este tipo de ensayo es altamente efectivo a la hora de evaluar los cordones de soldadura, ya que posibilita inspeccionar mejor los defectos presentes en el interior de las mismas. Sin embargo, posee una limitante, y es que no detecta fácilmente los defectos o discontinuidades de poco espesor que estén dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones, por lo que es necesario examinar la pieza o soldadura en distintas direcciones (Ruiz Rojas, 2003).

Dentro de las discontinuidades que se detectan mediante este método están las cavidades, porosidades, sopladuras, inclusiones sólidas de escoria, fisuras, micro grietas, falta de penetración, mordeduras, falta de fusión y exceso de penetración. Es una técnica que está regulada por normas internacionales como la UNE 14011, y que se puede llevar a cabo con equipos generadores de rayos “X”, o fuentes isotópicas (Ruiz Rojas, 2003).

Ultrasonido (UT): este ensayo utiliza ondas acústicas de alta frecuencia no perceptibles por el oído humano, para detectar imperfecciones en los cordones de soldadura. Es una prueba altamente efectiva, ya que posibilita la detección de discontinuidades superficiales y aquellas que se encuentran ubicadas a gran profundidad. Se lleva a cabo mediante la utilización de un cristal piezoeléctrico inserto dentro de un palpador, y con el cual se transmite una onda ultrasónica que viaja a través de toda la pieza inspeccionada, cuando dicha onda incide con una superficie límite llámese borde o discontinuidad se refleja y es detectada por el cristal piezoeléctrico que, a su vez, emite una señal eléctrica que es amplificada en forma de eco y que se registra en el equipo de medición, eco que debe ser regulado tanto en amplitud como en posición, para que pueda ser interpretado como registro de alguna discontinuidad (Ruiz Rojas, 2003).

Existen varias técnicas para realizar el ensayo del ultrasonido, cada una de ellas arroja diferente grado de información sobre las imperfecciones de la soldadura; por ejemplo, el método conocido como de transparencia o de sombra sólo sirve como prueba de control de calidad, ya que no determina ni la dimensión, ni la localización ni la profundidad de las discontinuidades, mientras que la técnica del impulso eco en el que un único palpador es el responsable de emitir y recibir la onda ultrasónica, sí puede determinar dicha información, y se considera como una de las más eficaces para inspeccionar soldadura (Ruiz Rojas, 2003).

Gracias a su capacidad de penetración posibilita la detección de discontinuidades superficiales, sub superficiales y a gran profundidad del material, ofrecer información relevante sobre el estado, la heterogeneidad, la dimensión y la localización de las imperfecciones. De hecho, es uno de los ensayos que se deben aplicar obligatoriamente en algunos procesos de soldadura, como por ejemplo la que se emplea en la industria automotriz (Ruiz Rojas, 2003).

Aunque es un ensayo considerado de alta efectividad, sólo logra localizar imperfecciones perpendiculares al haz del sonido, y se dificulta su uso en piezas soldadas de material delgado, y en aquellas en las cuales el cordón de soldadura

no presente buenos acabados. Este ensayo debe llevarse a cabo con equipos especializados y de la mano de personal o inspectores (Ruiz Rojas, 2003).

Tabla 1. Pruebas para detectar discontinuidades

Tipo de ensayo no destructivo	Discontinuidad que detecta
Inspección Visual	Sobremonta, salpicadura, concavidad, socavadura, grietas, porosidad, traslape.
Partículas Magnéticas	Socavadura, grietas.
Líquidos Penetrantes	Socavadura, grietas.
Rayos "X"	Falta de fusión, penetración excesiva, socavaduras, grietas, porosidad, inclusiones.
Ultra sonido	Falta de fusión, grietas, porosidad, inclusiones, laminación.

Fuente: Ruiz Rojas, (2003)

2.6 EL ESTADO DEL ARTE COMO UNA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

La única demanda para iniciar un estado del arte es el establecimiento de un tema o problema por investigar, "lo que implica un esfuerzo por reconocer los límites de lo ya sabido y atreverse a preguntar lo inédito, pero susceptible de ser pensado e investigado desde el acumulado en el campo del conocimiento, de ahí la importancia de realizar estados del arte en la investigación" (Torres, 2001).

En relación con lo anterior, y como bien lo ha venido anotando de tiempo atrás el profesor e investigador Germán Vargas Guillén (1999), *los estados del arte* representan la primera actividad de carácter investigativo y formativo por medio de la cual el estudiante se pregunta de manera inicial: qué se ha dicho y cómo se ha dicho en torno a su problema de investigación.

En este sentido, la actualización de un *estado del arte* es asunto de primer orden. Tiene serias implicaciones positivas para la formación y el desarrollo de destrezas como la documentación, el análisis, la comparación de métodos y de resultados. En fin, la producción de estos dispositivos de saber configuran una formación crítica, en el orden del conocimiento disciplinar, temático y metodológico (Vargas Guillén, 1999).

En los estados del arte se establece la necesidad de revisar y cimentar los avances investigativos realizados por otros, aclarar rumbos, contrastar enunciados provisionales y explorar nuevas perspectivas de carácter inédito, ya sea con respecto a los objetos de estudio, sus formas de abordaje, percepciones, paradigmas y metodologías, incluyendo el tipo de respuestas al que se ha llegado (Melo, 1969).

2.7 VIGILANCIA TECNOLÓGICA COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

Los medios de comunicación actuales han permitido la acelerada difusión de contenidos innovadores y por lo tanto, los investigadores, centros de Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y las industrias en general, tienen un gran alcance en la información para procesar, estudiar y crear sus estrategias. Gracias a estas fuentes de información y el interés de adquirir nuevos conocimientos de las tendencias un buen recurso para recolectar y analizar la información es llevar a cabo una vigilancia tecnológica (Aenor, 2006).

En general, la vigilancia tecnológica se asocia más con la observación y análisis de la información para convertir señales dispersas en tendencias y recomendaciones para la organización. Es un proceso organizado, selectivo y permanente, de captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios (Aenor, 2006).

El objetivo principal de los procesos de vigilancia tecnológica (VT) es convertir información en conocimiento para la organización. Conocimiento para ser utilizado en los ajustes de proyectos, estrategias, entre otros. Este conocimiento se refleja en informes que describen las tendencias y cambios significativos para la organización, los cuales se denominan: Informes de vigilancia tecnológica.

Ejemplos de estos informes son:

- Tecnologías software orientadas a servicios (Garbosa; Soriano, 2008).
- Servicios y tecnologías de tele-asistencia: tendencias y retos en el hogar digital (Valero, et al, 2007).
- Gestión térmica de sistemas espaciales (Rivas, 2009).

Ahora bien, analizado lo anterior podemos señalar algunas de las ventajas con las que se cuenta al realizar una VT:

- Conocer cambios de las tecnologías y en los mercados próximos al entorno organizacional.
- Reducir riesgos en la toma de decisiones.
- Conocer nuevas necesidades de los clientes.
- Dirigir los esfuerzos de innovación hacia aquellas tendencias que lo ameriten.
- Conocer mejor la competencia.
- Buscar alianzas con nuevos socios o asesoramiento de expertos.

Una incógnita que surge al realizar una vigilancia tecnológica es ¿Qué se incluye? La VT engloba todo tipo de documentación que pueda servir para el análisis sobre estrategias de gestión empresarial. De esta forma, la VT puede incluir:

- Patentes.
- Ferias, foros y eventos.
- Información de competidores.
- Noticias sobre el sector de actividad de la organización.
- Opiniones sobre el sector de actividad (expertos, usuarios).
- Publicaciones de interés (normativas, artículos científicos, boletines).

A pesar de que cada proceso de VT se debe diseñar adecuándose a las necesidades y condiciones del caso, se podría definir el siguiente ciclo de manera genérica:

1. Definición de las necesidades y objetivos de realizar un análisis de VT.
2. Selección de las fuentes de información de donde extraer los datos.

3. Extracción y captación de los datos.
4. Organización y análisis de la información.
5. Toma de decisiones y planteamiento de estrategias tecnológicas.
6. Inicio de un nuevo ciclo, adecuándose a las nuevas necesidades y objetivos trazados (Rojas, 2011).

En la actualidad ha surgido la necesidad de simplificar los procesos por medio de sistemas; de ahí surgen los sistemas de vigilancia tecnológica se presentan como herramientas en los sistemas de gestión I+D+i (Aenor, 2006). Estos sistemas se encargan de detectar, analizar y explotar la información útil para una organización. Sobre todo, interesan avances e innovaciones científico-técnicas que puedan afectar a los proyectos y estrategias de la organización o puedan convertirse en oportunidades de negocios. Dichas informaciones se obtienen mediante la exploración semi-automáticas de fuentes de información dadas, y la colaboración de operadores humanos.

Los sistemas de vigilancia tecnológica son sistemas que están continuamente vigilando y procesando contenido de fuentes de información. En el desempeño de sus labores, se espera de estos sistemas cierto grado de autonomía, ya que se quiere liberar a los operarios humanos de su carga de trabajo. Al mismo tiempo, se sabe que muchas de las tareas involucradas implican un uso intensivo de recursos. Por ello, al diseñar un sistema de vigilancia, es recomendable que partes de este se puedan ejecutar indistintamente en diversas máquinas.

2.8 LA NORMATIVA DE CALIDAD EN EL SECTOR AEROESPACIAL. LAS NORMAS EN 9100.

De acuerdo con Mercedes y Bernardo, (2005) la norma EN 9100:2003 "Sistemas de Gestión de la calidad. Requisitos (basado en ISO 9001:2000) y sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño, el desarrollo, la producción, la instalación y el servicio posventa (basado en ISO 9001:1994)" tiene

carácter europeo, pese a que es técnicamente semejante a la americana SAE AS9100 y a la japonesa JISQ9100.

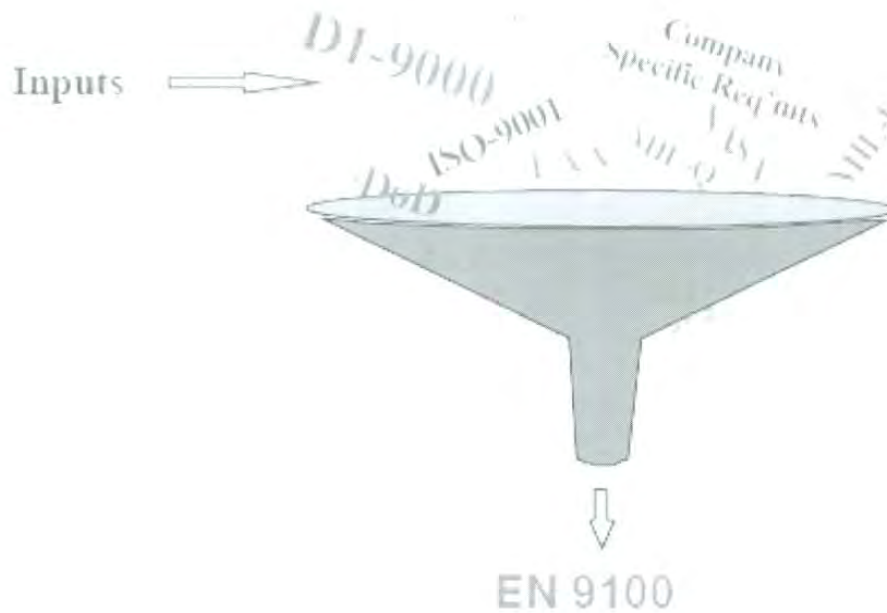
Cada "Fracción" del IAQG (América, Europa y Japón/Asia) formula su propia versión de la misma norma. En octubre de 1999 fue emitida por la Sociedad de Ingenieros de Automoción en América y por la Asociación Europea de Industrias Aeroespaciales (AECMA) en Europa, y más tarde por organizaciones en Japón y Asia. Esta norma combina y armoniza los requisitos establecidos en la norma AS 9000 de la Sociedad de Ingenieros de Automoción y en la norma EN 9000 de Europa (Mercedes y Bernardo, 2005).

■ La norma AS/EN/SJAC 9100 incluye los requerimientos de un sistema de gestión de la calidad de acuerdo con la Norma ISO 9001:2000, y especifica los requisitos agregados que debe cumplir un sistema de gestión de la calidad para la industria aeroespacial y que se concentran principalmente en los apartados y subapartados (Mercedes y Bernardo, 2005):

- "Realización del producto: Diseño y desarrollo, Compras y Control de la producción y de la prestación del servicio
- Medición y análisis y mejora: Seguimiento y medición del producto y Control del producto no conforme y que se centran en asegurar la calidad del producto."

Esta norma constituye un importante adelanto para la industria aeroespacial al armonizar los requisitos de los sistemas de gestión de calidad de varios de los mayores fabricantes y suministradores aeroespaciales, incluyendo AIRBUS INDUSTRIE, BAE SYSTEMS, THE BOEING COMPANY, GENERAL ELECTRIC AIRCRAFT ENGINES, PRATT & WHITNEY y ROLLS ROYCE (Mercedes y Bernardo, 2005). (Ver Figura 2).

Figura 2. Formación de la EN 9100



Fuente: Mercedes y Bernardo, (2005).

Es primordial tener en cuenta que los requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados en la norma EN 9100 son complementarios (no alternativos) a los requerimientos contractuales, legales y reglamentarios aplicables (Mercedes y Bernardo, 2005).

La EN 9100:2003 normaliza, en la mayor medida posible, los requerimientos del sistema de gestión de calidad para la industria aeroespacial. La creación de unos requisitos comunes, para su empleo a todos los niveles en la cadena de aprovisionamiento, por parte de las organizaciones distribuidas por todo el mundo, podría dar como resultado un aumento en cuanto a calidad y seguridad, junto a una reducción de costes, debido a la eliminación o reducción de los requisitos específicos únicos de una organización y la variación resultante, inherente a estas múltiples expectativas (Mercedes y Bernardo, 2005).

CAPITULO 3 METODOLOGIA

Como se señaló en la introducción, esta investigación se enmarca dentro del proyecto *“Diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo automatizado flexible para análisis y caracterización no destructiva de propiedades físicas estructurales en componentes manufacturados para el sector industrial aeroespacial, a través de la técnica de ultrasonido industrial”* el cual está vinculado entre Tecnodí Advance S.A. de C.V. y la Universidad de Sonora. Las actividades que se contemplan durante el desarrollo global del proyecto se describen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, señalando las partes responsables de cada actividad.

Figura 3. Proceso de elaboración del proyecto (Unison - Tecnodí Advance)



Fuente: Elaboración propia en base a Tecnodí Advance S.A de C.V y UNISON

En particular esta investigación sólo contempla el análisis del estado del arte, el cual tiene como objetivo conocer los diferentes tipos de procesos y técnicas de pruebas

no destructivas por ultrasonido industrial que pueden aplicarse a la industria aeroespacial como herramienta para mejorar la calidad en sus procesos de soldadura.

3.1 HERRAMIENTA DE ANALISIS

La metodología utilizada para el análisis del estado del arte es la *vigilancia tecnológica (VT)* como herramienta principal para la búsqueda de publicaciones de interés normativas, artículos científicos y boletines de los últimos 5 años para identificar y describir las diferencias entre métodos que utilizan el ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura.

Para esta investigación se tomó el ciclo de seis actividades propuesto por Rojas (2011), las cuales sirven como herramienta o instrumento de investigación y se deben seguir para realizar una vigilancia tecnológica (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Ciclo de actividades para la VT

No.	Actividad	Responsable
1	Definición de las necesidades y objetivos de realizar un análisis de VT.	UNISON
2	Selección de las fuentes de información de donde extraer los datos.	UNISON
3	Extracción y captación de los datos.	UNISON
4	Organización y análisis de la información.	UNISON
5	Toma de decisiones y planteamiento de estrategias tecnológicas.	TECNODI ADVANCE
6	Inicio de un nuevo ciclo, adecuándose a las nuevas necesidades y objetivos trazados	TECNODI ADVANCE

Específicamente esta investigación incluye las primeras cuatro actividades del ciclo de VT como parte de las responsabilidades que le corresponden a la Universidad de Sonora en la ejecución global de proyecto, mientras que la empresa Tecnode Advance será la responsable de implementar los pasos 5 y 6 que están orientados a la implementación de los resultados obtenidos del estudio.

A continuación se describe cada actividad del ciclo de VT, según Rojas (2011), y se señala en específico el enfoque que se siguió en esta investigación para cada una de ellas:

1. Definición de las necesidades y objetivos de realizar un análisis de VT

Este paso tiene como objetivo identificar las necesidades particulares de la empresa, y de esta manera obtener un buen cumplimiento de especificaciones o estándares de calidad en sus procesos de soldadura.

Con el fin de obtener conocimientos que permitan a la empresa Tecnode Advance tener una ventaja competitiva, se requiere un nivel de investigación y un manejo correcto de tecnología. Una de las opciones para llevar a cabo este trabajo es conocer el estado del arte para ofrecer una solución innovadora.

La empresa Tecnode Advance requiere conocer cuáles son las mejores técnicas o métodos de pruebas no destructivas en soldadura a través de la técnica de ultrasonido industrial, esto mediante búsqueda de información que permita un análisis exhaustivo para así seleccionar adecuadamente la correcta.

Para fines de este proyecto de investigación, en la búsqueda de información se estableció el cumplimiento de las siguientes características:

- Conocer las tendencias de las tecnologías y mercados próximos del ultrasonido industrial para END.

- Reducción de riesgos de toma de decisiones, al conocer datos reales que indiquen donde van a posicionarse con nuevas estrategias.
- Conocer el futuro de las tecnologías, conociendo nuevas necesidades.
- Innovar hacia procesos productivos, productos, capital humano, etc.
- Mostrar estadísticas que plasmen los lugares donde hay más actividad respecto a la técnica de ultrasonido.
- Evaluar y describir las tecnologías más adecuadas para este proyecto.

2. Selección de las fuentes de información de donde extraer los datos

En este paso se identifican publicaciones sobre el tema. El análisis de las publicaciones científicas nos proporciona una idea de las tendencias en materia de investigación. Sin embargo, tenemos que considerar que las publicaciones suelen tardar entre año y año y medio en ver la luz, por lo que, aunque no debemos dejar de lado este retraso, con este análisis lo que se pretende medir es el estado del arte actual.

Con el fin de asegurar una recopilación de información más exhaustiva sobre el tema de ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura, en esta investigación se identificaron diversas bases de datos que resultaran apropiadas para extraer las publicaciones científicas y artículos de interés. Se decidió utilizar bases de datos avanzadas que permitieran cumplir con cierto grado de fiabilidad de las fuentes, seleccionando las siguientes:

- a. *ISI Web of Knowledge (WoK)* es un servicio en línea de información científica, suministrado por el Institute for Scientific Information (ISI), grupo integrado en Thomson Reuters. Facilita el acceso a un conjunto de bases de datos bibliográficas y otros recursos que abarcan todos los campos del conocimiento académico.
 - i. Web of Science incluye varias grandes bases de datos bibliográficas, con referencias a citas bibliográficas de 8,700 revistas de ciencia, tecnología, ciencias sociales, artes, y humanidades.

- ii. El uso de ISI Web of Knowledge está autorizado a instituciones como universidades y departamentos de investigación de grandes corporaciones.
- b. *ELSEVIER (ScienceDirect)* es el hogar de casi una cuarta parte de texto de contenido científico, técnico y médica revisada por profesionales del mundo. Más de 15 millones de investigadores, profesionales de la salud, profesores, estudiantes y profesionales de la información de todo el mundo confían en ScienceDirect como una fuente confiable de casi 2.500 revistas y más de 26.000 títulos de libros.
- c. *Scopus* es la mayor base de resúmenes y referencias bibliográficas de literatura científica revisada por pares, con más de 18.000 títulos de 5.000 editoriales internacionales. Scopus permite una visión multidisciplinaria de la ciencia e integra todas las fuentes relevantes para la investigación básica, aplicada e innovación tecnológica a través de patentes, fuentes de Internet de contenido científico, revistas científicas de acceso abierto, memorias de congresos y conferencias.
 - i. Scopus es hoy la mejor herramienta para estudios bibliométricos y evaluaciones de producción científica, no sólo por su incomparable contenido, sino también porque reúne las herramientas adecuadas, tales como: perfil de autor, perfil de institución, rastreador de citas, índice h y analizador de revistas científicas.
- d. *Springer* es una editorial global que publica libros, libros electrónicos y publicaciones científicas de revisión por pares relacionados con ciencia, tecnología y medicina. Las publicaciones de libros incluyen mayoritariamente trabajos de investigación, libros de texto, monografías y series de libros. Dentro del ámbito de STM, Springer es la mayor editorial de libros, y la segunda más grande a nivel mundial

en publicaciones científicas, con más de 60 casas de publicación, alrededor de 2.000 publicaciones científicas, 6.500 nuevos libros publicados cada año.

3. Extracción y captación de los datos

Es la distinción y separación de todas las partes recopiladas de las fuentes de información lo que permite conocer de forma profunda los principios o elementos de la investigación.

En esta vigilancia tecnológica los criterios generales para la búsqueda de publicaciones que se establecieron fueron los siguientes:

- Palabras clave utilizadas: Ultrasonic, Non Destructive Test, NDT, Weld, Aerospace, Crack.
- Período de análisis: 2009-2014.

4. Organización y análisis de la información

En esta actividad el objetivo es organizar y discriminar la información recabada en la búsqueda.

Para obtener los datos relevantes del estado del arte que interesan en esta investigación, se hizo un análisis mediante la elaboración de cuadros comparativos que permitieran presentar los resultados de una manera ordenada para la revisión y evaluación por parte de la empresa.

Para el análisis de las publicaciones se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Año de la publicación
- b. País de origen
- c. Autores
- d. Aportación principal

- e. Metodología de evaluación de la soldadura
- f. Tipos de defectos en soldadura que analiza:
 - i. Poros o sopladuras
 - ii. Grietas o fisuras
 - iii. Resistencia a la fatiga
 - iv. Exfoliaciones
- g. Características de los defectos de soldadura:
 - i. Tamaño
 - ii. Ubicación
- h. Tipo de proceso de soldadura:
 - i. Automatizado
 - ii. Manual

5. Toma de decisiones y planteamiento de estrategias tecnológicas

Consiste en la valoración de los resultados obtenidos de la investigación por parte de la empresa y tomar decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo a como convengan a sus intereses.

6. Inicio de un nuevo ciclo, adecuándose a las nuevas necesidades y objetivos trazados

Conforme a los resultados que obtenga la empresa a partir de las decisiones tomadas de forma estratégica se contempla la mejora continua en sus procesos y tecnologías, identificando nuevas necesidades y objetivos empresariales.

CAPITULO 4 VIGILANCIA TECNOLÓGICA

4.1 APLICACIONES DE END

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones. Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de los Ensayos No Destructivos como nueva disciplina.

Los ensayos no destructivos se emplean en una variedad de ramas que cubren una gama de actividades aquí algunas de ellas:

- Industria automotriz
- Aviación e industria aeroespacial
- Construcción
- Manufactura
- Ingeniería nuclear
- Petroquímica

4.2 TENDENCIAS EN I+D

En este apartado se presentan algunas pautas que permiten extraer las tendencias tecnológicas del *ultrasonido industrial para pruebas no destructivas en soldadura* para el sector aeroespacial desde el punto de vista de la investigación. Para ello se analizaron los indicadores que la empresa Tecnode Advance necesita para

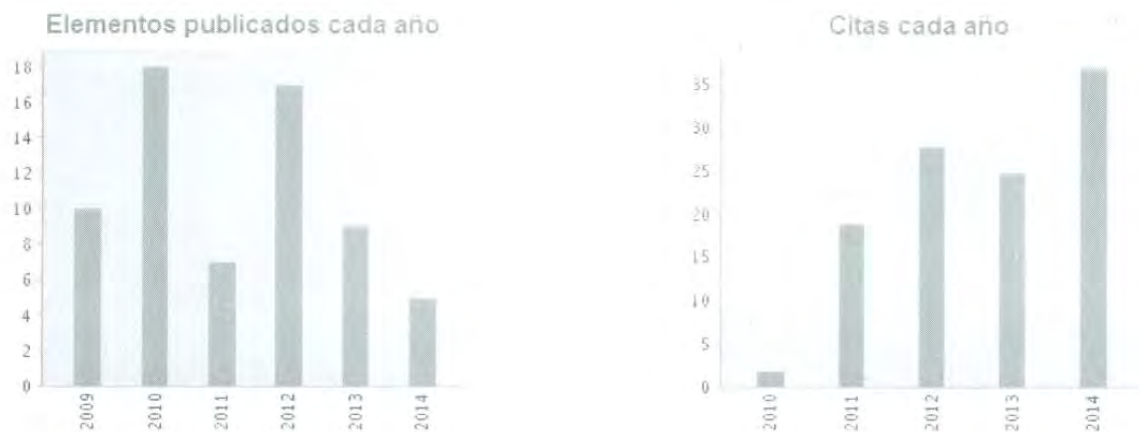
implementar nuevas tecnologías, todo esto por medio de publicaciones de interés, normativas, revistas, etc.

A continuación se presentan los resultados generales encontrados en las búsquedas de BD en forma individual.

Isi Web of Knowledge:

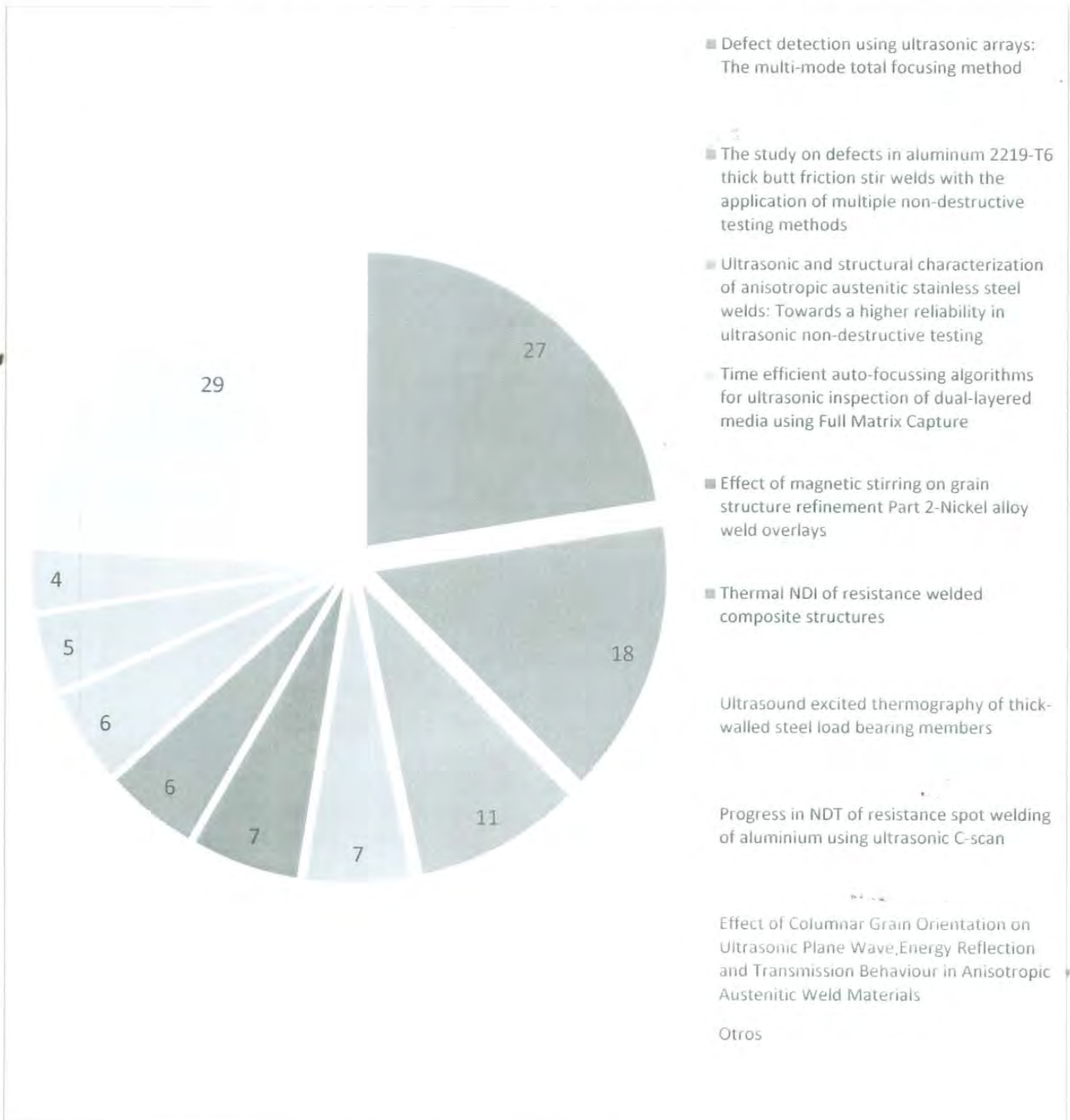
- Resultados mostrados: 66
- *Refinado por:* Áreas de investigación: (Materials Science y Engineering)

Figura 4. Publicaciones y citas de los elementos indexados en todas las bases de datos de ISI web of knowledge



Fuente: Extracción directa de ISI web of knowledge

Figura 5. Total de citas de las publicaciones de los últimos 5 años

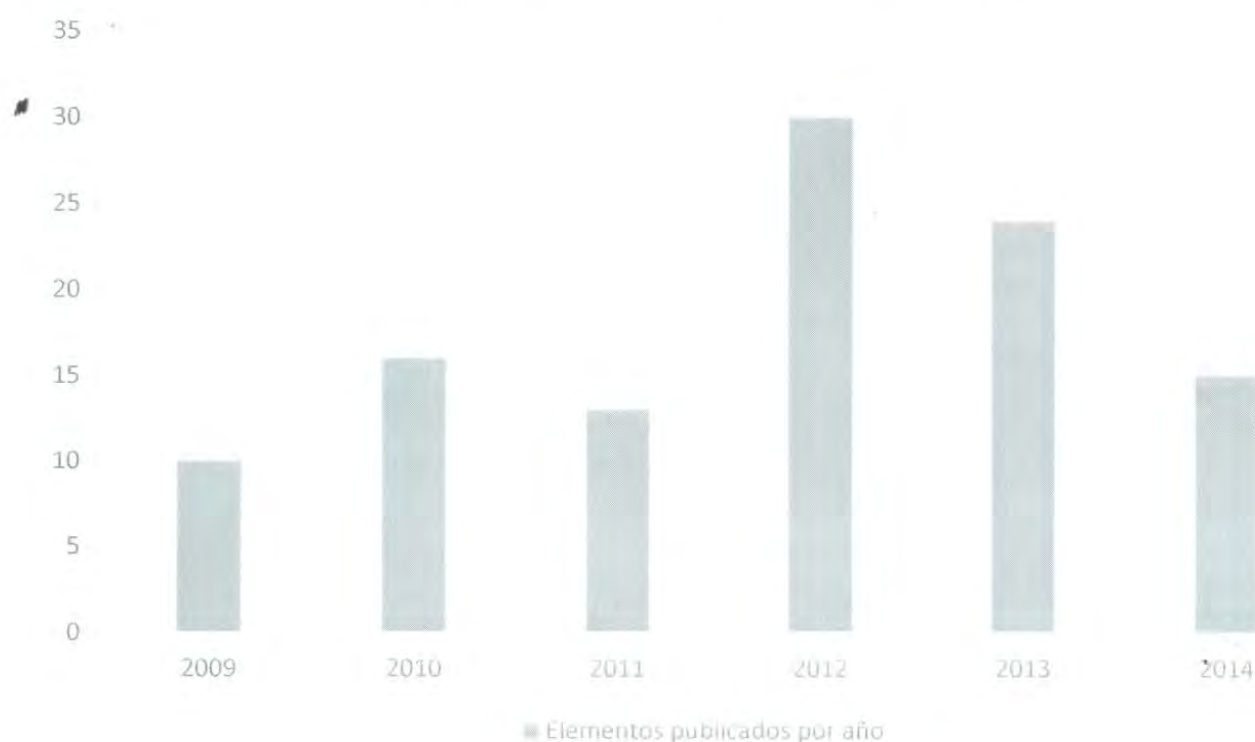


Fuente: Elaboración propia en base a la BD ISI Web Knowledge

Elsevier (Science Direct):

- *Resultados mostrados:* 108
- *Refinado por áreas de investigación:* NDT & E International, Ultrasonics, Materials Science and Engineering: Measurement, Applied Welding Engineering.

Figura 6. Elementos publicados por año



Fuente: Extracción directa de Science Direct el día 30 de septiembre del 2014

Scopus:

- *Resultados mostrados: 58*

Springer:

- *Resultados mostrados: 108 (todos los años registrados porque la base de datos no permite filtrar el periodo de publicaciones)*
- *Refinado por áreas de investigación: Ingles, Física, Ingeniería, Artículos*

4.4 Análisis del estado del arte

A partir de los resultados obtenidos en la búsqueda del estado del arte sobre métodos y aplicaciones de la tecnología del ultrasonido industrial para pruebas no destructivas se realizó un análisis para identificar la evolución y tendencias en

investigación sobre las aplicaciones por ultrasonido en END relacionadas con la industria (ver Tabla 3).

Tabla 3. Lista de temas y aplicaciones de I+D en END ultrasónica

2009-2010	2011 – 2012	2013 en adelante
Dimensionamiento de grietas en componentes de plantas de energía usando matrices basada en técnicas de ultrasonidos	Pruebas no destructivas por ultrasonido y sistemas de evaluación de la calidad de soldadura de un anillo	Reconstrucción de distribución de temperatura en un bloque de acero usando sensores ultrasónicos
Técnicas no lineal ultrasónica para la evaluación no destructiva de daño en micro materiales	El potencial de la medición ultrasónica no destructiva de las tensiones residuales	Probabilidad de predicción de duración y confiabilidad estructural en la evaluación de rotores de turbina por medio de ultrasonidos automatizados
Efecto de la microestructura sobre la onda elástica LCR para soldadura residual de medición estrés	Enfoque de apertura sintética y tiempo de vuelo de difracción (TOFD) utilizando imágenes de ultrasonido	Matrices ultrasónicas para pruebas no destructivas cuantitativas enfocado a la ingeniería
El uso de matrices ultrasónicas para caracterizar grietas como defectos	Métodos de deconvolución dispersos para END Ultrasónicos	Defectos enterrados poco profundos basado en el método de pruebas ultrasónicas TOFD
Detección automática de fisuras y caracterización durante la inspección ultrasónica	Evaluación del estrés residual en uniones soldadas disimilares utilizando simulación por elementos finitos y la LCR onda ultrasónica	SAFT y TOFD – Estudio comparativo de dos técnicas de dimensionamiento de defectos sobre un modelo sobre un reactor en un recipiente a presión
Detección de defectos utilizando matrices de ultrasonidos: método multi-modo de enfoque total	Reconstrucción de fallas de imágenes por el método C-SAFT de señales de eco medidos por una red de antenas en el modo de escaneo triple	Ensayos no destructivos de porosidad en soldadura por láser ultrasónico para aleación de placas de aluminio y análisis de frecuencia de ancho de banda
Ultrasonidos y caracterización estructural de soldaduras de acero inoxidable austeníticos anisotrópicos: Hacia una mayor fiabilidad en los ensayos no destructivos por ultrasonidos	Efecto de la orientación en columnas de granos en la reflexión del plano de ondas ultrasónicas y transmisión de energía en el comportamiento de materiales de soldadura en anisotrópicos austeníticos	Detección y monitoreo por FSM para grietas por fatiga en localizaciones invisibles de placa de acero cubierta
	Las mediciones comparativas del estado de estrés en acero de carbono laminado	Una revisión de la Internacional (ISO) y la europea (EN) Normas para el

Barkhausen y método ultrasonico	uniones soldadas
Caracterización de propiedades de los materiales de la serie 2xxx Al aleaciones por técnicas de pruebas no destructivas	Medición de la atenuación de dispersión por ultrasonidos en las soldaduras de acero inoxidable austenítico
Caracterización de CFRP mediante la mejora de métodos de prueba ultrasónicos	Evaluación de la calidad de la soldadura por puntos de contacto en base a pruebas de ultrasonido y técnicas basadas en árboles
Métodos ultrasónicos no destructivos de análisis de tensión en los materiales y elementos estructurales	Evaluación de los daños no destructivos en materiales compuestos reforzados con fibras con la exploración polar ultrasónica pulsada
Evaluación ultrasónica no destructiva de unión de titanio por difusión.	Datos de entrada realista para el modelado numérico END: Medición de la atenuación de dispersión por ultrasonidos en las soldaduras de acero inoxidable austenítico
Piezoelectricos receptores ultrasónicos integrados para laser de ultrasonido en ensayos no destructivos de metales	Diagnóstico de los daños materiales y la caracterización de los rotores de turbina utilizando NDE técnicas de reconstrucción de datos ultrasónicos adaptables tridimensionales
Inmersión y TOFD (I-TOFD): una nueva combinación para el examen de espesores inferiores	Efecto de los parámetros de soldadura ultrasónica sobre la microestructura y las propiedades mecánicas de uniones disimilares
Determinación del tipo de fallas a partir de imágenes obtenidas por el método C SAFT con la cuenta de la transformación de los tipos de ondas en reflexiones de pulso ultrasónico de los límites irregulares de un objeto de prueba	El uso de ondas ultrasónicas y el método de elementos finitos para evaluar a través del grosor de la distribución de las tensiones residuales en la soldadura por fricción de las placas de aluminio
Clasificación automática de defectos en ultrasonidos de	Mejora de la calidad de la señal utilizando ondas de

END usando inteligencia artificial	orden superior para la señal ultrasónica de TOFD en soldaduras de acero inoxidable austenítico
Efectos del envejecimiento térmico sobre la microestructura de níquel en rodamiento basados en soldadura de superlación de recubrimientos utilizando técnicas de ultrasonido	La detección de defectos y la evaluación de la termografía infrarroja ultrasónica para compuestos CFRP aeroespacial
La fiabilidad de defectos en inspecciones ultrasónicas manuales	Sistema de apoyo a las decisiones para la inspección por ultrasonidos de laminados de metal con fibra utilizando el procesamiento estadístico de señales y redes neuronales
El estudio sobre defectos en aluminio 2219-T6 en soldaduras por fricción-agitación a tope de espesor con la aplicación de múltiples métodos de ensayos no destructivos	Comparación entre el contacto y el método de inmersión ultrasónica de soldadura para evaluar el estrés residual de uniones disimilares

Fuente: Elaboración propia en base a diferentes fuentes científicas

Así mismo, se discriminó información para atender el objetivo del estudio e identificar las publicaciones más relevantes y pertinentes sobre el tema de interés, obteniendo un total de 24 artículos. La Tabla 4 presenta los tópicos, autores, universidades, países y número de citas de las publicaciones seleccionadas.

Tabla 4. Temas, Autores y Universidades dedicadas a la investigación de métodos de END para soldadura

TEMA	AUTORES	UNIVERSIDAD	PAIS	CITAS
Shallow Buried Defect Testing Method Based on Ultrasonic TOFD	Chi Dazhao Tie Gang	Harbin Inst Technol	China	0
SAFT and TOFD—A Comparative Study of Two Defect Sizing	Jens Prager, Jessica Kitze Cécile Acheroy Daniel Brackrock	BAM Fed Inst Mat Res & Testing	Germany	2

Techniques on a Reactor Pressure Vessel Mock-up Non-destructive Testing of Porosity in Laser Welded Aluminium Alloy Plates: Laser Ultrasound and Frequency-Bandwidth Analysis	Gerhard Brekow				
	Marc Kreutzbruck				
	Gaël Diot,	Inst Maupertuis	France	2	
	Afia Koudri-David	Univ Europeenne Bretagne			
	Henri Walaszek	CETIM Senlis			
Detection and Monitoring by FSM for Fatigue Crack at Invisible Location of Steel Plate Deck with U-rib	Sylvain Guégan	Univ Europeenne Bretagne			
	Jihed Flifla	ECAM Rennes Louis de Broglie			
	You-Chul Kim	Osaka University	Japan	0	
	Mikihito Hirohata	Nagoya University			
	Kengo Shibata	Osaka University			
The Potential of Ultrasonic Non-Destructive Measurement of Residual Stresses by Modal Frequency Spacing using Leaky Lamb Waves	Kyong-Ho Chang	Chung-Ang University	Korea		
	Z.H. Zhu	York University	Canada	N.D.	
	M.A. Post	York University			
	S.A. Meguid	University of Toronto			
	Yonka Ivanova	N.D	N.D	N.D	
Comparative Measurements of the Stress State in a Rolled Carbon Steel Using Magnetic Barkhausen Noise and Ultrasonic Method	Todor Partalin				
	Fawad Tariq,	Pakistan Space & Upper Atmosphere Res Commiss SUP, Mat Res & Testing Lab	Pakistan	1	
Characterization of Material Properties of 2xxx Series Al-Alloys by Non Destructive Testing Techniques	Nausheen Naz				
	Rasheed Ahmed Baloch				
	Faisal				

Characterisation of CFRP Through Enhanced Ultrasonic Testing Methods	T. B. Helfen	Fraunhofer Inst Nondestruct Testing y Univ Saarland	Germany	0
	R. Sridaran Venkat	Univ Saarland		
	U. Rabe	Fraunhofer Inst Nondestruct Testing y Univ Saarland		
	S. Hirsekorn	Fraunhofer Inst Nondestruct Testing		
	C. Boller	Fraunhofer Inst Nondestruct Testing y Univ Saarland		
Ultrasonic nondestructive methods of stress analysis in materials and structural members (review)	A. N. Guz	Timoshenko Institute of Mechanics	Ukraine	N.D
Immersion and TOFD (I-TOFD): A Novel Combination for Examination of Lower Thicknesses	R. Subbaratnam	Indira Gandhi Ctr Atom Res, Qual Assurance Div	India	2
	Saju Abraham			
	B. Venkatraman	Indira Gandhi Ctr Atom Res, Radiol Safety & Environm Grp		
	Baldev Raj	Indira Gandhi Ctr Atom Res, Qual Assurance Div		
Determining the Flaw Type from Images Obtained by the CSAFT Method with Account for Transformations of Wave Types upon Reflections of Ultrasonic Pulses from the Irregular Boundaries of a Test Object	E. G. Bazulin	OOO Sci & Prod Ctr Echo	Russia	7
Automatic Defect Classification in Ultrasonic NDT Using Artificial Intelligence	S. Sambath	Mepco Schlenk Engn Coll	India	12
	P. Nagaraj			
	N. Selvakumar			
The Use of Ultrasonic Arrays to Characterize Crack-Like Defects	Jie Zhang	Univ Bristol	England	2
	Bruce W. Drinkwater			
	Paul D.Wilcox			

Automatic Crack Detection and Characterization During Ultrasonic Inspection	Thouraya Merazi Meksen Bachir Boudraa Redouane Draï Malika Boudraa	Univ Sci & Technol H Boumedienne Ctr Welding & Control Univ Sci & Technol H Boumedienne	Algeria	6
Nonlinear Ultrasonic Techniques for Non-destructive Assessment of Micro Damage in Material: A Review	Kyung-Young Jhang	Hanyang University	South Korea	N.D
Microstructure Effect on the Lcr Elastic Wave for Welding Residual Stress Measurement	H. Qozam S. Chaki G. Bourse C. Robin H. Walaszek P. Bouteille	Ecole Mines Douai Ctr Tech Ind Mecan	France	11
Material damage diagnosis and characterization for turbine rotors using three-dimensional adaptive ultrasonic NDE data reconstruction techniques	Xuefei Guan, Jingdan Zhang El Mahjoub Rasselkorde, Waheed A. Abbasi, S. Kevin Zhou	Siemens Corp, Corp Technol Siemens Energy Inc Siemens Corp, Corp Technol	USA	0
Using ultrasonic waves and finite element method to evaluate through-thickness residual stresses distribution in the friction stir welding of aluminum plates	Seyedali Sadeghi Mehdi Ahmadi Najafabadi Yashar Javadi Mohammadjavad Mohammadisefat	Amirkabir University of Technology Islamic University Azad	Iran	3
Signal quality enhancement using higher order wavelets for	Angam Praveen K. Vijayarekha	SASTRA University	India	3

ultrasonic signals from austenitic stainless steel welds	TOFD from stainless steel welds	Saju T. Abraham B. Venkatraman	Indira Gandhi Centre for Atomic Research		
Decision support system for ultrasound inspection of fiber metal laminates using statistical signal processing and neural networks		Eduardo F. Simas Filho Yure N. Souza Juliana L.S. Lopes Cláudia T.T. Farias Maria C.S. Albuquerque	Federal Institute of Bahia y University of Bahia Federal Institute of Bahia	Brazil	0
Comparison between contact and immersion ultrasonic method to evaluate welding residual stresses of dissimilar joints		Yashar Javadi Mehdi Ahmadi Najafabadi	Islamic University Amirkabir University of Technology,	Azad Iran	7
Defect detection using ultrasonic arrays: The multi-mode total focusing method		Jie Zhang , Bruce W. Drinkwater Paul D. Wilcox Alan J. Hunter	University Walk, University of Bristol	Reino Unido	27
The study on defects in aluminum 2219-T6 thick butt friction stir welds with the application of multiple non-		Bo Li Yifu Shen	Nanjing University of Aeronautics and Astronautics	China	18

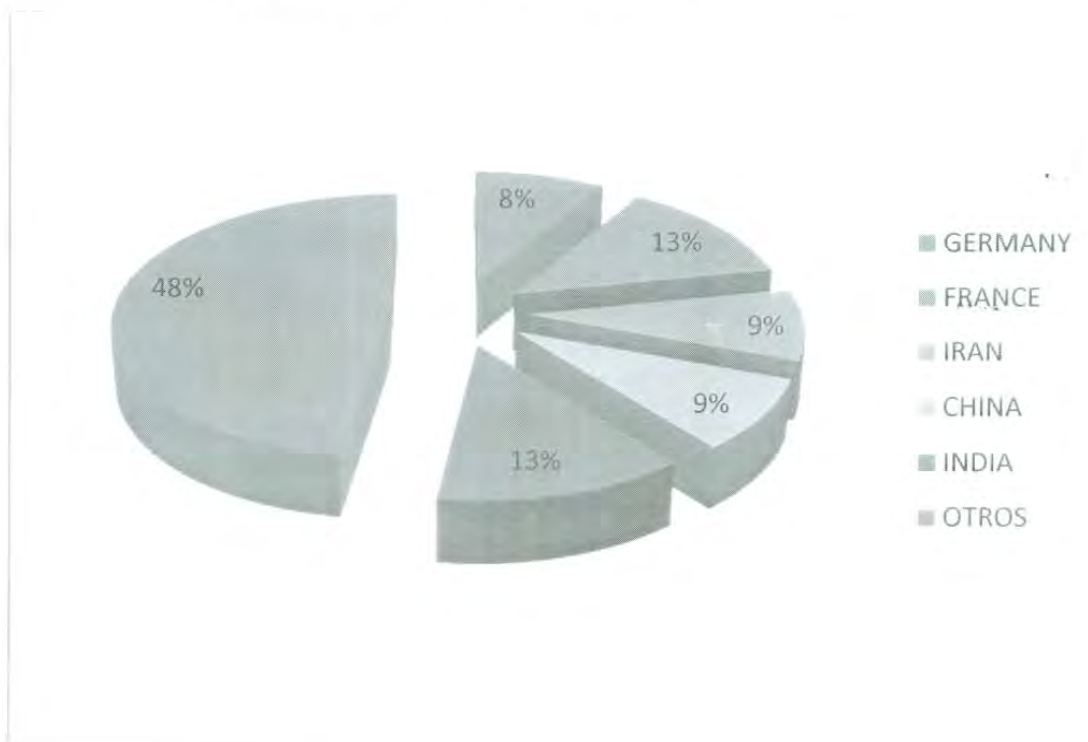
destructive testing methods Weiye Hu

Ultrasonic and structural characterization of anisotropic austenitic stainless steel welds: Towards a higher reliability in ultrasonic non-destructive testing	B. Chassignole	EDF R&D,	France	11
	R. El Guerjouma	Université du Maine and CNRS		
	M.-A.Ploix	INSA de Lyon and CNRS		
	T.Fouquet	EDF R&D		

Fuente: Elaboración propia en base a ISI Web Knowledge

Como se puede observar, Francia e India son los países que más han publicado investigaciones sobre técnicas, métodos o modelos de ultrasonido para END en soldadura, les siguen países como Alemania, Irán y China con buen nivel de avance, mientras que otros países (Japan, Korea, Canada, Pakistan, Ukraine, Russia, England, Algeria, South Korea, USA, Brazil) están muy por detrás (ver Figura 7).

Figura 7. País de origen de las publicaciones



Fuente: Elaboración propia en base a la BD ISI Web Knowledge

4.3 RESULTADOS DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA

En esta sección se presenta la síntesis de las publicaciones más relevantes y pertinentes al objetivo de la investigación y requerimientos de la empresa Tecnode Advance (pruebas no destructivas de soldadura por ultrasonido) con el fin de recopilar información general que sirviera para posteriormente realizar un análisis y una evaluación de los métodos, técnicas o modelos de END para soldadura.

Título original: Shallow Buried Defect (SBD) Testing Method Based on Ultrasonic TOFD

Título en Español: Defectos enterrados poco profundos (shallow buried defect, SBD) método de prueba basado en ultrasonido TOFD

Autores: Dazhao Chi, Tie Gang

Año de publicación del artículo: 2013

Objetivo: Con el fin de detectar SBD, este trabajo presenta un nuevo método de prueba, una técnica basada en el método tiempo ultrasónico de difracción de vuelo (Ultrasonic time of flight diffraction, TOFD) con un triple reflejo en la onda longitudinal.

Presenta un método para la detección para SBD, basado en TOFD convencional. El método se denomina como TOFDW porque emplea un triple reflejo de onda longitudinal cuya propagación sigue el camino en la pieza de prueba lo que parece la letra "W".

Metodología usada: Sobre la base de la teoría de Pitágoras, se desarrollaron modelos matemáticos simples para localizar el defecto en el modo TOFDW.

Se fabricaron y probaron también ranuras artificiales y defectos de soldadura para hacer pruebas utilizando TOFDW.

Aplicación: TOFD ha demostrado ser muy eficaz para la inspección de las placas de acero, tuberías tubulares y tanques. Se puede realizar fácilmente para pruebas de componentes de pared gruesa con una geometría simple, mientras que, de geometría compleja y componentes de pared delgada son difíciles de inspeccionar.

Resultados obtenidos: Con el modo de TOFDW propuesto y el modelo de localización de defectos, la punta del defecto artificial con una profundidad enterrada de 1 mm puede ser detectado, y la profundidad enterrada de las puntas de defectos artificiales se puede medir dentro de un error de 0,3 mm. El defecto de soldadura con la profundidad enterrada de 2 mm se puede identificar con eficacia, y la ubicación se puede medir dentro de un error de 0,5 mm. Es una técnica complementaria eficaz para el modo de TOFD convencional, el método propuesto se puede realizar fácilmente sin necesidad de equipo auxiliar. En el modo de TOFDW, el sistema de inspección gana importancia, a menudo se selecciona a fin de detectar la onda de defecto que tiende a llevar el ruido de alta frecuencia en la señal e imagen.

Recomendaciones: El mejoramiento de la resolución temporal de los datos de TOFDW se estudiará en un futuro próximo.

Título original: SAFT and TOFD—A Comparative Study of Two Defect Sizing Techniques on a Reactor Pressure Vessel Mock-up

Título en Español: SAFT Y TOFD – Un estudio comparativo de dos técnicas para defectos de tamaño en un reactor de presión en un recipiente modelo.

Año de publicación: 2013

Autores: Jens Prager, Jessica Kitze, Cécile Acheroy, Daniel Brackrock, Gerhard Brekow, Marc Kreuzbruck

Objetivo: Detección y la localización de los defectos utilizando ambos métodos y, si es posible, la determinación de su tamaño.

Metodología usada: Todas las pruebas se realizaron usando un manipulador de barrido de superficie sin revestimiento exterior de la muestra. Varias pistas paralelas se escanearon en un patrón de trama para asegurar que los reflectores de prueba fueron óptimamente golpeados por el haz de sonido. Equipo de agrupación en fase con un módulo de software integrado de (Synthetic Aperture Focussing Technique, SAFT) desarrollado en el Instituto Federal de Investigación, además de prueba de materiales fueron utilizados en combinación con diferentes sondas de elementos en fase en modo *eco de impulsos* para la recogida de datos para SAFT.

Aplicación: Los elementos de fase ultrasónica no destructiva evalúa los defectos utilizando SAFT y TOFD lo cual difiere en varios aspectos. Un aspecto es la aplicabilidad de la técnica. En el nivel del proceso de medición, TOFD puede hacerlo muy rápidamente, pero esta configuración es relativamente difícil de manejar. En contraste SAFT lleva más tiempo debido al escaneo obligatorio en dos direcciones y al cálculo posterior.

En aplicaciones prácticas, la pregunta a menudo surge de cual método debería ser preferido para el problema END. Incluso si uno generaliza recomendaciones que no pueden ser dadas, la investigación presenta los siguientes intentos de comparar y de evaluar el rendimiento de SAFT y TOFD en sus aplicaciones en problemas de inspección típicas generalmente en materiales revestidos utilizados en los recipientes de reactores de las centrales nucleares.

Cualquier aplicación práctica de TOFD da una mejor visibilidad de grietas inclinadas, particularmente en mayor profundidad esperada

Los resultados del análisis de defectos con mayor detalle, se indica claramente que para la aplicación subyacente de SAFT es más adecuado como un método de análisis que TOFD, especialmente para determinar el tamaño del defecto.

Resultados obtenidos: Las propiedades de la muestra, la técnica de prueba disponible y la orientación del defecto, así como el tiempo y costo, esencialmente determina cual método debería ser utilizado para la búsqueda y/o método de

análisis de la soldadura. Para la configuración de la investigación los resultados claramente obtenidos indican que SAFT es más adecuado que TOFD, ambos tienen método de análisis con algunas limitaciones, y también son métodos de búsqueda.

La SAFT, así como el software TOFD proporciona herramientas para un dimensionamiento semi-automático. El algoritmo automáticamente marca la posición de la amplitud máxima y la distancia entre esos máximos se pueden medir para determinar el tamaño del defecto.

Las ventajas y desventajas de los dos métodos pueden resumirse de la siguiente forma:

Ventajas de SAFT

- Resumiendo, los valores de la amplitud eliminan los errores estocásticos, aumentando el SNR.
- Determina la posición y dimensión posible de una serie de mediciones.
- Resultados de la reconstrucción SAFT son más fáciles de interpretar.
- La inspección de soldaduras también son posibles para la accesibilidad de un solo lado y con refuerzo de soldadura.
- Secuencialmente la acumulación de apertura de la sonda dentro de la gama, del ángulo de haz permite una reconstrucción dependiente del ángulo posterior para evitar artefactos.
- Diagramas muy ilustrativos.

Desventajas de SAFT:

- Gran cantidad de datos sin procesar.
- Para piezas de gran tamaño y orientación de defectos desconocidos que sólo debe utilizarse como un método de análisis.

- La alta demanda en el tiempo de cálculo.

Ventajas de TOFD:

- Detección y dimensionamiento de una serie de mediciones de componentes delgados.
- El uso de las señales de difracción permiten la detección de defectos con casi cualquier inclinación, sin embargo con detección diferentes.
- Tiempos de inspección cortos.
- Determinación de defectos y valoraciones fáciles para las evaluaciones de soldadura de forma rápida y simple.

Desventajas de TOFD:

- Ubicación exacta de la falla es difícil de determinar debido a las señales en forma de hoz.
- Limitada resolución espacial.
- Accesibilidad de ambos lados del cordón de soldadura son necesarios.
- Zona muerta de aproximadamente dos veces la longitud de onda por debajo de la superficie.
- Los resultados son difíciles de interpretar.

Título original: Non-destructive testing of porosity in laser welded aluminium alloy plates: laser ultrasound and frequency-bandwidth analysis

Título en Español: Ensayos no destructivos de porosidad en soldaduras laser en placas de aleación de aluminio: Laser ultrasónico y análisis de frecuencia de ancho de banda

Año de publicación: 2013

Autores: Gaël Diot, Afia Koudri-David, Henri Walaszek, Sylvain Guégan, Jihed Flifla

Objetivo: El objetivo de nuestro estudio es explorar diferentes ensayos no destructivos con el fin de sugerir un nuevo método de inspección, que será capaz de detectar defectos internos en línea en un contexto industrial.

Metodología usada: El proceso de soldadura se describe y las muestras se caracterizan en primer lugar con técnicas de rayos X para seleccionar aquellas que contienen defectos de diferentes tamaños y densidades. En segundo lugar, estas soldaduras se pusieron a prueba con la técnica de láser de ultrasonidos (LUT).

En este artículo vamos a presentar primero el experimento de soldadura láser y la caracterización de la radiografía. Las muestras fueron estudiadas con diferentes pruebas de ultrasonido y los resultados fueron analizados con el fin de recuperar toda la información posible.

Aplicación: La configuración utilizada, fue la fase de soldadura de láminas de 1 mm o 2 mm de grosor de aleación de aluminio. Esta configuración es utilizada en la industria automotriz.

Resultados obtenidos: En nuestro estudio, la inspección de soldaduras no habría sido posible sin LUT.

En esta configuración en particular, la información cruda no es suficiente para nosotros para ver todos los detalles contenidos en los datos de ultrasonidos. Por lo tanto, los métodos de procesamiento de la señal están siendo desarrollados con el fin de mejorar la precisión de la señal, o para cambiar la representación de los datos con el fin de facilitar la interpretación.

Título original: Detection and monitoring by FSM (field signature method) for fatigue crack at invisible location of steel plate deck with u-rib

Título en Español: Detección y monitoreo por FSM (método firma de campo) para grietas por fatiga una ubicación invisible de las placa de acero cubierta con u-costilla

Año de publicación: 2013

Autores: You-Chul Kim, Mikihiro Hirohata, Kengo Shibata, and Kyong-Ho Chang

Objetivo: La detección de este tipo de grietas por inspección visual es en realidad imposible porque inician / propagan en la ubicación invisible dentro de la U-costilla. La precisión y la eficacia de la inspección no destructiva existentes tales como las pruebas de ultrasonidos (ultrasonic test, UT) no es tan alto porque la estructura de la inspección objetivo es compleja y la zona de inspección es demasiado amplia.

Para estos problemas, FSM: El método firma de campo, es uno de las inspecciones no destructivas basadas en el método de la diferencia potencial, la cual se observa en este estudio.

Metodología usada: Experimentos de fatiga se llevan a cabo para investigar si la iniciación y propagación de grietas por fatiga en la ubicación invisible pueden ser detectadas y monitorizadas por FSM o no. Por otro lado, el efecto de la iniciación y propagación de la grieta de fatiga en el patrón de campo eléctrico se examinó por el análisis de campo eléctrico estático. Basándose en los resultados, se investiga si la grieta de fatiga generada en el lugar invisible de la cubierta de placa de acero con U-costilla puede ser precisamente detectada y monitoreada por FSM.

Aplicación: La aplicabilidad del FSM en el monitoreo de grietas por fatiga en estructuras de acero se ha confirmado.

Aunque los pasadores no se pueden adjuntar el interior de la U-costilla en las estructuras reales, estas paredes tipo sándwiches ciertamente iniciadas y propagadas por una prueba de fatiga. Además, la distancia entre los pasadores es estrecho (aproximadamente 100 mm). Por lo tanto, este tipo de pares se utiliza como la medida en la detección y la vigilancia de la iniciación y la propagación de la grieta porque se espera que la exactitud de ellas sea alta.

Resultados obtenidos: Resultados de la prueba de fatiga, la inspección visual y las pruebas de partículas magnéticas (MT) se llevaron a cabo desde el lado superior de la placa de cubierta en varias veces.

Los resultados del monitoreo FSM confirman que las grietas de fatiga iniciadas en la ubicación invisible de la cubierta de placa de acero con U-costilla pueden ser detectadas y la propagación de ellas podría ser monitoreado por FSM.

Título original: The potential of ultrasonic non-destructive measurement of residual stresses by modal frequency spacing using leaky lamb waves

Título en Español: El potencial de la medición ultrasónica no destructiva de las tensiones residuales de separación de frecuencia modal usando ondas formadas por fugas.

Año de publicación: 2012

Autores: Z.H. Zhu, M.A. Post, S.A. Meguid

Objetivo: Este artículo investiga el potencial de las mediciones no destructivas ultrasónicas de tensiones residuales utilizando el método de separación de frecuencia modal basado en el espectro de interferencia de las ondas formadas por fugas como una alternativa al enfoque de tiempo de vuelo usado comúnmente en métodos ultrasónicos.

Metodología usada: Extensos experimentos se llevaron a cabo para verificar la viabilidad y solidez de la técnica que utiliza una configuración de ondas formadas por fugas con muestras tensionadas uniaxiales y ejemplos de acero soldado.

Finalmente, una placa de acero soldada se examinó y se evaluó el estrés residual.

Aplicación: Mediciones no destructivas de tensiones residuales en las estructuras de ingeniería derivados de los procesos de fabricación como la soldadura, forja, doblado, y las operaciones de mecanizado pueden proporcionar los primeros indicios de posibles fallos sin dañar físicamente las estructuras. Entre los métodos

no destructivos, la tecnología de ultrasonidos es uno de los más comúnmente utilizados debido a su precisión, portabilidad, seguridad y bajo costo en comparación con otros métodos no destructivos tales como rayos X y difracción de neutrones, y los métodos magnéticos, sólo por mencionar pocos.

Hasta la fecha, los autores son conscientes de cualquier trabajo que reporta la aplicación del método de separación de frecuencia modal (MFS) en la medición no destructiva de la tensión residual en placas de acero, especialmente en placas de acero soldadas.

Resultados obtenidos: El trabajo actual demuestra la viabilidad y el potencial del método propuesto en la medición de tensiones residuales en placas soldadas y estructuras de paredes delgadas.

Esto se logra midiendo la separación de frecuencia modal en el espectro de interferencia especularmente reflejada y las ondas formadas por fugas en el dominio de la frecuencia, que no es sensible al tiempo y se podría hacer con equipos de bajo costo. Extensos experimentos se realizaron para investigar la precisión, la fiabilidad y la limitación del método MFS. Los datos experimentales demuestran que el método MFS puede alcanzar una precisión de margen de error de 3%. También se ha encontrado que es necesario al menos dos longitudes de onda en la dirección del grosor al seleccionar la frecuencia de onda con el fin de tener una buena medición de MFS. Además, el ángulo de incidencia en una configuración de emisión y recepción no debe ser demasiado cerca de los límites inferior / superior especificada por la ecuación del método MFS. De lo contrario, la interferencia entre la especularmente reflejada y las ondas formadas con fugas se vuelve demasiado débil para tener buena medición MFS. Nuestro estudio encuentra también que la medición de la separación de frecuencia modal depende de la frecuencia de la onda, que no puede ser explicado por el método actual MFS. Se necesitan más estudios para incluir el efecto de la frecuencia en el método de MFS. Por último, hemos demostrado que el potencial del método de MFS en la medición de las tensiones residuales de soldadura en una placa soldada. El perfil de las tensiones medidas

cerca de la zona de soldadura captura las características de las tensiones residuales de soldadura.

Recomendaciones: Sin embargo, la medición en nuestro trabajo es un valor promediado en dirección del grosor mediante el uso de un ángulo incidente. Uno podría ser capaz de obtener el perfil de tensión residual a lo ancho en el futuro mediante la medición de la MFS con múltiples ángulos incidente simultáneamente.

Título original: Comparative Measurements of the Stress State in a Rolled Carbon Steel Using Magnetic Barkhausen Noise and Ultrasonic Method

Título en Español: Las mediciones comparativas del estado de estrés en un acero rodado en carbón utilizando ruido magnético Barkhausen y el método ultrasónico

Año de publicación: 2012

Autores: Yonka Ivanova, Todor Partalin

Objetivo: El objetivo es comparar los resultados de efecto Barkhausen y la emisión acústica magnética con el método ultrasónico aplicado y para encontrar los parámetros no destructivos apropiados para la evaluación del estado de estrés de los materiales.

Metodología usada: El procedimiento del experimento se realiza por carga consecutiva y el registro de la intensidad del ruido de Barkhausen, la emisión acústica magnética, así como el tiempo de tránsito de la onda de superficie ultrasónica.

Aplicación: La técnica de emisión magnética de Barkhausen es un método de ensayo no destructivo para la evaluación de micro estructuras y hace hincapié en los aceros ferromagnéticos. Las ventajas de este método son las mediciones más rápidas, la portabilidad de los equipos, y la capacidad para medir componentes de geometrías complejas. Las otras ventajas son las diferentes técnicas y procedimientos para la magnetización y el análisis de las señales durante la realización de los dispositivos.

Resultados obtenidos: Los resultados para la emisión acústica magnética muestran una buena posibilidad para el monitoreo de las cargas mecánicas.

Los resultados muestran la buena sensibilidad de las técnicas no destructivas aplicadas. Las variaciones de los parámetros no destructivos son bastante apreciables y útiles para el estrés y la anisotropía de las estimaciones.

Título original: Characterization of Material Properties of 2xxx Series Al-Alloys by Non Destructive Testing Techniques

Título en Español: Caracterización de propiedades de los materiales de la serie 2xxx en aleaciones de aluminio mediante técnicas de pruebas no destructivas.

Año de publicación: 2012

Autores: Fawad Tariq, Nausheen Naz, Rasheed Ahmed Baloch, Faisal

Objetivo: El objetivo principal de este trabajo es la caracterización de las propiedades del material de la serie 2xxx en aleaciones de aluminio por técnicas Eddy actuales y ultrasónicas de END para que la inspección pueda llevarse a cabo de manera efectiva en el menor tiempo posible.

Metodología usada: En el presente estudio se hace un intento de establecer una correlación entre la dureza y microestructuras forjadas de la serie 2xxx en aleaciones de aluminio (AA 2014, AA 2024 y AA 2219) con conductividad eléctrica, y los parámetros acústicos (velocidad y atenuación) obtenido a través de la ECT y UT respectivamente.

Aplicación: Aleaciones de aluminio termo tratables de la serie 2xxx (tipo Al-Cu) son ampliamente utilizados para aplicaciones estructurales (sobre todo en la industria aeroespacial y automotriz) la series 2xxx de aleaciones de aluminio se emplean ampliamente en aplicaciones estructurales debido a sus buenas propiedades mecánicas.

Resultados obtenidos: Los resultados demostraron una excelente correlación entre la dureza y la velocidad del sonido, mientras que se extienden del envejecimiento pudiendo fácilmente prevenir por la conductividad eléctrica y la medición del coeficiente por atenuación.

Análisis de resultados y discusión sugiere firmemente que existe una correlación excelente entre la dureza y la velocidad del sonido longitudinal obtenida de la sonda 4 MHz para todos los tres grados de las series 2xxx investigadas y el ajuste lineal obteniendo muestras con buena promesa en la identificación de cualquier microestructura particular.

Por consiguiente, se llegó a la conclusión de que la combinación de técnicas de evaluación no destructiva por ultrasonidos actuales y Eddy podrían rendir mejor, ser más fiables, tener resultados completos y realistas que cualquier técnica individual para la detección no destructiva y caracterización de microestructuras y propiedades de los materiales de la serie 2xxx de aleaciones de aluminio cuando las técnicas convencionales de ensayo son difíciles o inadecuadas.

Recomendaciones: Esta investigación sugiere un avance hacia la detección no destructiva y caracterización de propiedades de los materiales cuando los métodos de prueba convencionales no son aplicables.

Título original: Characterisation of CFRP Through Enhanced Ultrasonic Testing Methods

Título en Español: Caracterización de CFRP mediante la mejora de métodos de prueba de ultrasonido

Año de publicación: 2012

Autores: T. B. Helfen, R. Sridaran Venkat, U. Rabe, S. Hirsekorn, C. Boller

Objetivo: En este trabajo se analizan dos métodos de ensayo ultrasónicos diferentes de estructuras de CFRP

Metodología usada: Se requieren pruebas para verificar y métodos de análisis para la detección de defectos y evaluación, así como la caracterización de materiales.

Se analizan dos métodos de ensayo ultrasónicos diferentes para estructuras de CFRP utilizando técnicas basadas en transductores múltiples individuales (elementos en fase). Registro de datos y procesamiento del cómputo basado en muestreo de elementos de fase (Sampling Phased Array, SPA) se considera teniendo en cuenta propiedades de los materiales anisotrópicos en términos de adaptación de fase inversa, lo que conduce a una mejora significativa de la resolución espacial en las pruebas de ultrasonidos. Además, se discute de transmisión ultrasónica no lineal para mejorar la detección y extracción de características de daño en materiales compuestos.

Aplicación: La fibra de carbono de materiales compuestos reforzados disfruta de un campo cada vez mayor de aplicaciones en el entorno aeronáutico y se deben a la expansión en los sectores del automóvil.

Polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) son ampliamente utilizados en muchas aplicaciones, por ejemplo en la industria aeroespacial, la energía renovable, la tecnología en alta mar, el automóvil y el sector del ocio.

Sin embargo, la estructura anisotrópica de dos fases de un material compuesto implica una variedad de desafíos tales como la dispersión, inclinación del haz, y la distorsión de campo de sonido que complican la localización, el tamaño, y la caracterización de los defectos.

Resultados obtenidos: Por muestreo de elementos en fase (SPA) y de transmisión ultrasónica no lineal. La primera técnica permite la detección, tratamiento de imágenes, y el tamaño de las grietas, defectos, y exfoliaciones con una alta resolución espacial en tiempo real. Este último es adecuado para la detección de daño temprano como los campos de micro grietas y uniones débiles.

Título original: **Ultrasonic non-destructive methods of stress analysis in materials and structural members (review)**

Título en Español: Métodos ultrasónicos no destructivos de análisis de tensión en los materiales y elementos estructurales

Síntesis del artículo: 2011

Autores: A. N. Guz

Objetivo: Este documento fue preparado inicialmente (como un resumen) para el libro de ensayos no destructivos en Ucrania por invitación de la Sociedad Ucraniana de Ensayos No Destructivos y diagnóstico técnico. Este libro fue pensado para ser un material promocional e informativo similar a las publicadas en Inglaterra, Rusia, EE.UU., China, y otros países. Proporciona un análisis moderno del estado del arte en métodos ultrasónicos no destructivos de análisis de tensión en los materiales y elementos estructurales en el comienzo de la tercera Milenio.

Metodología usada: Los institutos desarrollaron conjuntamente métodos no destructivos por ultrasonidos de análisis de tensión en paredes delgadas y gruesas de miembros estructurales y en las capas cercanas a la superficie de los materiales. Uno de estos métodos denominado triaxial (incluye biaxiales y uniaxiales) tensiones en los elementos estructurales, la mayoría de los métodos extranjeros son capaces de determinar las tensiones uniaxiales únicamente. Otro método denominado biaxial (incluye el uniaxial) destaca en capas cercanas a la superficie de los materiales, la mayoría de los métodos extranjeros son capaces de determinar las tensiones uniaxiales solamente.

Aplicación: Se aplican a los metales y aleaciones.

Resultados obtenidos: El Instituto de Mecánica y el Instituto de Soldadura Eléctrica obtuvieron los siguientes resultados generales. Se demostró que es necesario utilizar el potencial elástico, que depende de tres invariantes del tensor de deformación, en el caso de materiales isotropos. Una expresión del potencial elástico para materiales débilmente ortótropos se deriva y se utiliza para describir la propagación de las ondas.

Método ultrasónico de análisis de tensión. Estrés triaxial. El método está destinado para placas, coquillas, y miembros estructurales de paredes gruesas hechas de materiales de laminas de espesor constante o débilmente variable.

Método no destructivo por ultrasonido de Análisis de tensión. Los biaxiales destacan en capas cercanas a la superficie. El método está destinado para determinar tensiones biaxiales y uniaxiales en las capas cercanas a la superficie de los materiales y se basa en los principios de la propagación de las ondas Rayleigh en los materiales de pretensado.

Los resultados del desarrollo y la aplicación del método ultrasónico no destructivo para la determinación de tensiones biaxiales en capas cercanas a la superficie de los materiales fueron presentados en la monografía y, en un número de publicaciones en revistas tales como y se informó en las conferencias y congresos internacionales.

Título original: Immersion and TOFD (I-TOFD): A novel combination for examination of lower thicknesses

Título en Español: Inmersión y TOFD (I-TOFD): Una nueva combinación para el examen de bajos espesores

Año de publicación: 2011

Autores: R. Subbaratnam, Saju T, Abraham, B. Venkatraman, Baldev Raj

Objetivo:

Metodología usada: Este documento destaca los resultados de las investigaciones experimentales detalladas sobre inmersión TOFD y su exitosa aplicación para la evaluación de las soldaduras en hexcan utilizados para encapsular varillas de combustibles nucleares.

Aplicación: Tiempo de difracción de vuelo (TOFD) es una técnica bien desarrollada de ensayos no destructivos por ultrasonidos (NDT) que se ha aplicado con éxito

para determinar el tamaño exacto de defectos en secciones gruesas. Los códigos de prácticas tales como ASME ahora permiten TOFD para un examen de rutina, como alternativa a la radiografía simple de piezas soldadas de espesor.

La principal ventaja de esta técnica es su mayor probabilidad de detección en comparación con la radiografía en el caso de las indicaciones lineales que se encuentran dentro del espesor de la muestra y reduce el tiempo de inspección a través de un escaneo más rápido. Escaneo más rápido también hace TOFD una técnica preferida para aplicaciones de alta temperatura ya que los transductores se expusieron durante duraciones más cortas a los ambientes de altas temperaturas.

■ Sin embargo, el examen de secciones más delgadas por TOFD tiene sus limitaciones. La principal limitación es que a medida que el espesor de la muestra disminuye, la onda lateral, onda difractada y el eco de la pared trasera se funden y es muy difícil de identificar el tamaño de la discontinuidad. Además, el tamaño de los transductores convencionales limita la separación requerida de la sonda. Éxito limitado que se ha obtenido internacionalmente a través de la aplicación de sondas miniatura y software para extender TOFD a espesores más bajos.

Resultados obtenidos: Una nueva metodología basada en una combinación simple y novedosa de TOFD y la inmersión se ha propuesto, el cual es una solución interesante al problema de la detección de defectos y la ubicación en soldaduras finas. El uso de esta combinación, bautizado como "I-TOFD", los autores detectan con éxito los defectos artificiales en placas delgadas y también establecieron la viabilidad de la aplicación de este método en el control real de soldaduras en subconjuntos hexcan de un reactor reproductor rápido de prototipos. En comparación con eco de pulso convencional, esta metodología reduce la cantidad total de tiempo requerido para el escaneado y es bastante rápido. Además, la presentación de los resultados de una inspección como una imagen a menudo representa una excelente solución que ayuda en la fácil identificación de los defectos. El método compara bien con otras técnicas NDE convencionales como la radiografía con las variaciones en la caracterización de defectos de dimensión es menor que 2%.

Título original: Determining the Flaw Type from Images Obtained by the CSAFT Method with Account for Transformations of Wave Types upon Reflections of Ultrasonic Pulses from the Irregular Boundaries of a Test Object

Título en Español: Determinación del tipo de fallas a partir de imágenes obtenidas por el método CSAFT con la cuenta de las transformaciones de tipos de ondas en reflexiones de pulsos ultrasónicos de los límites irregulares de un objeto de prueba

Año de publicación: 2011

Autores: E. G. Bazulin

Objetivo: La aplicación de redes de antenas (application of antenna arrays, AAs) para la obtención de imágenes de fallas durante la prueba no destructiva automatizada

Metodología usada: Se propone un enfoque alternativo en el que las señales de eco se registran utilizando un AA que opera en el modo de escaneo doble, y un algoritmo modificado SAFT combinados, cual toma en consideración múltiples rayos de propagación ultrasónicos teniendo en cuenta las transformaciones de tipos de ondas en los reflejos de los límites irregulares de un objeto de prueba, que se utiliza para obtener imágenes de defectos.

Aplicación: N.D

Resultados obtenidos: Las imágenes obtenidas permiten determinar no sólo las dimensiones y ubicaciones de los defectos también los tipos. Esto es muy importante en el desarrollo de un sistema de pruebas de ultrasonido automatizado.

1. La suma coherente de imágenes parciales impone altos requisitos sobre la precisión de la determinación de los valores de las velocidades longitudinales y transversales de sonido y las formas del fondo y de superficie.
2. Es posible distinguir una grieta de un defecto volumétrico mediante el uso de imágenes obtenidas por el método FS-M-SAFT teniendo transformaciones

de tipos de ondas en consideración durante las reflexiones de las señales de eco de los límites, que se calculan en el modo triple escaneo.

3. Para igualar las amplitudes de imágenes parciales, un prisma con un ángulo de inclinación de 25° ~ debe ser utilizado en lugar de un estándar de 35° prisma.

Título original: Automatic Defect Classification in Ultrasonic NDT Using Artificial Intelligence

Título en Español: Clasificación automática de defectos en ultrasonidos NDT usando inteligencia artificial

Año de publicación: 2011

Autores: S. Sambath, P. Nagaraj, N. Selvakumar

Objetivo: El objetivo es conseguir una guía artificial de redes neuronales (Training the artificial neural network, ANN) bien formado capaz de realizar la función de un humano experto y clasificar diversos defectos de sus correspondientes oscilogramas ultrasónicos, por lo que la ANN debe tener una capacidad adecuada para generarla.

Metodología usada: Las ondiculas transformadas se utilizan para derivar una función de vector que contiene la información de dos dimensiones en varios tipos de defectos. Estos vectores se clasifican utilizando una ANN formada con el algoritmo de retro propagación. Las entradas de la ANN son las características extraídas de cada oscilograma ultrasónico. Cuatro tipos diferentes de defectos se consideran: porosidad, falta de fusión, y la inclusión de tungsteno y no defecto. El entrenamiento del ANN utiliza mecanismo de aprendizaje supervisado, por lo que cada entrada tiene la salida deseada respectiva. El conjunto de datos disponible se divide aleatoriamente en un subconjunto de formación (para actualizar los valores de peso) y un subconjunto de validación.

Aplicación: Señales ultrasónicas fueron adquiridos utilizando la técnica pulso-eco durante la inspección del cordón de soldadura con tres (3) diferentes tipos de defectos: la porosidad (PO), falta de fusión (Lack of fusion, LF), y la inclusión de tungsteno (tungsten inclusion, TI). Una clase de señales de las regiones no presentan ningún defecto (no defect, ND) sirvieron para identificar las señales de soldaduras con defecto o soldaduras que no presentaron ningún defecto. Las señales reflejadas por los defectos poseen información sobre defectos de tamaño y orientación.

La clasificación correcta del tipo de defecto presente en el material reduce los errores de medición, aumentando la confianza en la prueba y por consiguiente la seguridad del material en aplicación futura. El progreso en las técnicas computacionales, específicamente el desarrollo de las redes neuronales, ha estimulado enormemente la investigación en el desarrollo de sistemas automáticos para la inspección y la clasificación de defectos en materiales de ingeniería.

Resultados obtenidos: En este trabajo, un nuevo método para la clasificación de las señales en NDT de materiales se desarrolla utilizando ANN y DWT. La configuración implementada de ANN (una red neuronal artificial con la técnica de procesamiento de señal) mostró una tasa razonable de éxito para clasificar los patrones de señales ultrasónicas obtenidas a partir de cuatro clases de defecto en placas de acero inoxidable extraídos por la técnica de eco de impulsos. El modelo ANN desarrolla un sistema rápido y agradable y fácil, que ayuda a la práctica de los técnicos, reduciendo el tiempo empleado en la clasificación de las señales de defectos obtenidos a través de pruebas de ultrasonido.

La precisión del clasificador se determina por el porcentaje de formas de onda correctamente identificados. En este trabajo, se obtiene una buena tasa de clasificación de 94% usando ANN con las características de tren de ondas. La precisión de la clasificación obtenida para la detección y clasificación de defectos son muy alentadores, demostrando la idoneidad para el desarrollo de un sistema de soporte de decisiones para la evaluación no destructiva de materiales. La tasa de éxito de este método es mayor en comparación con los otros métodos sin procesamiento de señales. Según los resultados, se puede concluir que el modelo

desarrollado y aplicado a las señales ultrasónicas son altamente confiables y precisos para el monitoreo de la calidad en línea.

Título original: Automatic Crack Detection and Characterization During Ultrasonic Inspection

Título en Español: Detección de fisuras automática y caracterización durante la inspección por ultrasonidos

Año de publicación: 2010

Autores: Thouraya Merazi Meksen, Bachir Boudraa, Redouane Draï, Malika Boudraa

Objetivo: Este artículo describe un método que evita la formación de la imagen, remplazado por una matriz dispersa (ya que no hay razón para almacenar y operar en un número excesivo de ceros), y automatiza la detección de grietas mediante el análisis de la curva formada por los elementos de matriz dispersa.

Metodología usada: La matriz dispersa se forma usando un espectro dividido (Split-Spectrum Processing, SSP) de procesamiento, lo que mejora la relación señal-ruido. La transformación aleatoria de Hough se aplica entonces en los elementos de matrices dispersas para detectar las hipérbolas que caracterizan los defectos de crack.

Aplicación: A la luz de la presión industrial, la tendencia reciente ha sido para automatizar el procesamiento de imágenes utilizando el software de interpretación.

La técnica TOFD (Time Of Flight Diffraction) está ganando importancia rápida debido a su alta precisión en la detección, posicionamiento y dimensionamiento de defectos en estructuras de acero. En este tipo de imágenes, las grietas se caracterizan utilizando conjuntos de hipérbolas, donde las posiciones de la cumbre corresponden a agrietarse en posiciones como la punta. Sin embargo, las señales ultrasónicas difractadas son a menudo demasiado bajo y difícil de distinguir de ruido, y cuando se inspeccionan grandes estructuras, la cantidad de datos pueden ser

extremadamente grande, con el área de interés es muy pequeña en comparación con el tamaño.

Resultados obtenidos: En este trabajo, hemos demostrado la viabilidad de un método ultrasónico automatizado que permite la detección y caracterización de las grietas que se presentan en una estructura. Este método reduce la intervención humana, la cantidad de datos almacenados y el tiempo de procesamiento necesario. Se evita la formación de la imagen TOFD generalmente explotados en técnicas de ensayos no destructivos, en lugar su sustitución por una matriz dispersa. En la fase de decisión, el uso de la transformada aleatoria de Hough permite la detección automática incluso si la curva está ocluida, como puntos aislados son muy poco probable que contribuyan a un pico en el espacio Hough. La incorporación de este método en el software utilizado en los sistemas automáticos le ayudará en la toma de decisiones. En el caso de pequeñas grietas, se hace eco debido a las dos puntas pueden solaparse.

Recomendaciones: El trabajo futuro consiste en realizar el método, SSP para distinguir entre dos señales cercanas. Procesamiento de espectro dividido es una aplicación práctica del concepto de diversidad de frecuencia. Se ha utilizado con éxito para la detección de defectos y supresión de ruido en aplicaciones de END. En SSP, un conjunto de diversas frecuencias se crean a partir de la señal de entrada de banda ancha mediante el empleo de un conjunto de filtros de paso de banda paralela con diferentes frecuencias centrales.

Título original: Nonlinear ultrasonic techniques for nondestructive assessment of micro damage in material: a review

Título en Español: Técnicas no lineales de ultrasonido para la evaluación no destructiva de micro daños en materiales: Una revisión

Año de publicación: 2009

Autores: Kyung-Young Jhang

Objetivo: En este trabajo, el progreso general en esta técnica se revisa con la breve introducción del principio básico en la aplicación de cada fenómeno ultrasónico no lineal.

Metodología usada: Esta revisión abarca los fenómenos acústicos no lineales inducidos en los sólidos, que se clasifican de la siguiente manera:

- Generación de armónicos superior
- Generación Sub-armónica
- Desplazamiento de la frecuencia de resonancia
- Respuesta de frecuencia mixta

El mecanismo físico básico de cada fenómeno se presentó con aplicaciones a la evaluación de micro daños tales como la fatiga, envejecimiento, o grietas cerradas, etc.

Recientemente, la técnica de ultrasonidos no lineal, utiliza el comportamiento no lineal de ultrasonidos tales como la generación de armónica superior, la generación sub-armónica, la resonancia no lineal, o respuesta de frecuencia mixta, se han estudiado como un método positivo para superar esta limitación.

Aplicación: La evaluación de los cambios estructurales de materiales, construcciones, monitoreo de resistencia máxima y la resistencia en funcionamiento es requerida durante los problemas estructurales integrales de la industria. Especialmente la evaluación de daño acumulado o la degradación en las propiedades de materiales fracturados en la fase temprana es importante en las plantas de refinería, plantas de energía nuclear, o partes de aviones con el fin de garantizar su seguridad estructural.

El más potente de manera no destructiva de la evaluación de la degradación del material es el método ultrasónico ya que las características de propagación de la onda ultrasónica están directamente relacionados con las propiedades del material. NDE ultrasónica tradicional se basa en la teoría lineal y normalmente se basa en la medición de algún parámetro concreto (coeficientes de velocidad, atenuación,

transmisión y reflexión de sonido) de la señal de propagación para determinar las propiedades elásticas de un material o para detectar defectos. La presencia de defectos cambia la fase y / o amplitud de la señal de salida, pero la frecuencia de las señales de entrada y de salida es la misma.

Sin embargo, la técnica de ultrasonidos convencional es sensible a defectos brutos o abre grietas, donde hay una barrera eficaz a la transmisión, mientras que es menos sensible a uniformidades distribuidas como micro grietas o degradación. Una técnica alternativa para superar esta limitación es el ultrasonido no lineal. La diferencia principal entre lineal y no lineal de ultrasonido NDE es que en este último la existencia y características de defectos se relacionan a menudo con una señal acústica cuya frecuencia difiere de la de la señal de entrada. Esto está relacionado con la radiación y la propagación de amplitud finita (especialmente de alta potencia) de ultrasonido y su interacción con las discontinuidades, tales como grietas, interfaces y huecos. Dado que la falla o degradación del material es generalmente precedido por algún tipo de comportamiento mecánico no lineal antes de la deformación plástica o daños materiales que se producen, recientemente se ha centrado en la aplicación de los ultrasonidos no lineales.

Aunque los métodos ultrasónicos lineales han sido durante mucho tiempo uno de los más populares y útiles de la evaluación no destructiva (NDE) metodologías, esfuerzos considerables se han gastado en los últimos años en el desarrollo de metodologías de NDE basada en los ultrasonidos no lineales

Hoy en día, muchos investigadores están aplicando estas técnicas ultrasónicas no lineales para la caracterización de diversos materiales, metálicos y no metálicos, incluyendo el cuerpo humano para el diagnóstico médico.

Resultados obtenidos: En esta revisión, todos los fenómenos no lineales ultrasónicos desarrolladas hasta ahora se clasifican en cuatro tipos; generación de armónico superior, la generación de subarmónico, la resonancia no lineal, o respuesta de frecuencia mixta. El mecanismo físico básico de cada fenómeno se introdujo con aplicaciones para la evaluación de micro daños, tales como fatiga,

envejecimiento, o grietas cerradas. Los resultados de investigación han mostrado que las técnicas de ultrasonidos no lineales son mucho más sensibles a micro daños que las características lineales convencionales de onda ultrasónica.

Recomendaciones: Otros temas de actualidad incluyen el desarrollo de imágenes, métodos sin contacto y la mejora en la precisión de la energía acústica de enfoque para conseguir respuestas no lineales más grandes o aditivo de procesamientos de señales para estimar características ultrasónicas no lineales.

Título original: Microstructure effect on the LCR elastic wave for welding residual stress measurement.

Título en Español: Efecto de la microestructura sobre la onda elástica LCR para medición del estrés residual en soldadura.

Año de publicación: 2009

Autores: H. Qozam, S. Chaki, G. Bourse, C. Robin, H. Walaszek & P. Bouteille

Objetivo: Nuestro estudio se refiere a la evaluación por ultrasonido de las tensiones residuales de soldadura. Este proceso de montaje induce tres microestructuras distintas en la costura de soldadura: la zona fundida (melted zone, MZ), la zona afectada por el calor (heat affected zone, HAZ) y el metal padre (parent metal, PM). Anteriormente, la evaluación de esfuerzos residuales en las placas de acero soldadas, por el uso del método de la onda LCR, sólo era posible en el MZ y en las zonas de PM. Mientras que en la HAZ, las tensiones residuales se evaluaron incorrectamente debido a su pequeño ancho que impide la extracción de la muestra de calibración.

Metodología usada: En este trabajo, propone un enfoque original para resolver este problema, que consiste en la reproducción de la microestructura de esta zona mediante un tratamiento térmico específico. Para la parte experimental, se utilizaron placas de acero soldadas P355 y las tres zonas se probaron. Los resultados se compararon con los obtenidos por el método de *perforación de agujero* el cual

demuestra un potencial probado del método ultrasónico usando las ondas de LCR. Las mediciones de tensiones residuales por onda por LCR se hicieron con la suficiente precisión, tales como la variabilidad de medidas repetidas se estima del orden de ± 36 MPa.

Aplicación: La medición ultrasónica por tensiones residuales se basa en el efecto elástico acústico que se refiere al cambio en la velocidad de las ondas elásticas cuando se propaga en un medio estresado.

Las tensiones residuales están presentes en los materiales sin ninguna presión externa, y generalmente resultan de heterogeneidades de deformación que aparecen en el material. Juegan un papel importante en la fuerza y la vida útil de las estructuras. La soldadura es un proceso de montaje a menudo utilizados en las industrias mecánicas, especialmente en la industria de recipientes a presión.

La solicitud de alta de la industria para las técnicas de evaluación de estrés alentó el desarrollo de varios métodos como la difracción de rayos X, la perforación del agujero incremental y, más recientemente, las ondas ultrasónicas y los métodos de ruido de Barkhausen. Muchos estudios mostraron claramente que no hay ningún método universal o absoluta que da completa satisfacción en el seguimiento de estrés no destructivo en sitios de los componentes mecánicos. Muchos parámetros tales como materiales, geometría, calidad de la superficie, el costo y exactitud de la medición, etc., deben tenerse en cuenta en la elección de un método adecuado.

El método ultrasónico fue elegido para la medición de estrés, ya que no es destructivo, es fácil de usar, y relativamente barato. Sin embargo, es muy sensible a los efectos de microestructura (granos de tamaño, tasa de carbono, textura y estructura) y para las condiciones de operación (temperatura, acoplamiento, etc).

Resultados obtenidos: Finalmente, este trabajo confirma el potencial de las olas Lcr para evaluar con precisión las tensiones residuales de soldadura, si se tienen en cuenta todas las microestructuras de muestra.

Título original: Material damage diagnosis and characterization for turbine rotors using three-dimensional adaptive ultrasonic NDE data reconstruction techniques

Título en Español: Diagnóstico de los daños materiales y la caracterización de los rotores de turbinas utilizando NDE técnicas de reconstrucción de datos ultrasónicos adaptables tridimensionales.

Año de publicación: 2014

Autores: Xuefei Guan, Jingdan Zhang, El Mahjoub Rasselkorde, Waheed A. Abbasi, S. Kevin Zhou

Objetivo: El objetivo de este estudio es desarrollar una metodología general y una herramienta de software para el diagnóstico daños materiales a partir de datos de NDE por ultrasonidos.

Metodología usada: El estudio está organizado de la siguiente manera. En primer lugar, se presentan los esquemas de la técnica de reconstrucción de datos y de fusión de datos de adaptación en tres dimensiones. Los parámetros clave de la técnica de reconstrucción y los resultados correspondientes se discuten en detalle. A continuación, se proponen métodos de identificación y agrupación de fallas basadas en algoritmos en regiones en crecimiento para identificar defectos. Después de eso, AutoNDE rotor se presenta y se aplica a un rotor de taladro por medio de una aplicación de ultrasonido NDE.

Aplicación: Turbinas y generador de rotores son componentes de alta fiabilidad en la industria de generación de energía.

Una ventaja significativa de la reconstrucción es que la rejilla 3D resultante puede ser correlacionada con las dimensiones físicas del objeto que está siendo inspeccionado, que permite la identificación directa defecto y la localización.

Resultados obtenidos: Se propone la metodología de reconstrucción de datos con la técnica SAGS para procesar los datos NDE ultrasónicos crudos y reconstruir un

volumen. El volumen reconstruido se utiliza entonces para la identificación automática de falla y agrupar el uso de algoritmos en regiones de crecimiento. El método de la DGS se utiliza para estimar el tamaño en términos del reflector equivalente para fallas agrupadas. Los métodos generales y algoritmos se implementan como una herramienta de software llamada AutoNDE rotor. Los datos NDE ultrasónicos realistas se obtienen de las pruebas de campo y se utilizan para demostrar la eficacia de los métodos, algoritmos y la herramienta implementados. Los resultados del estudio actual indican los métodos desarrollados y la herramienta de software proporciona una solución viable y automatizada para diagnóstico de daños materiales en rotores y la caracterización de problemas utilizando ultrasonidos NDE.

Recomendaciones: El método SAFT será investigado en el futuro.

Título original: Using ultrasonic waves and finite element method to evaluate through-thickness residual stresses distribution in the friction stir welding of aluminum plates

Título en Español: El uso de ondas ultrasónicas y método de elementos finitos para evaluar a través del espesor por distribución de tensiones residuales en la soldadura por fricción y agitación de placas de aluminio

Año de publicación: 2013

Autores: Seyedali Sadeghi, Mehdi Ahmadi Najafabadi, Yashar Javadi, Mohammadjavad Mohammadisefat

Objetivo: El objetivo principal de este estudio es la medida por ultrasonidos a través del espesor de tensiones residuales en la soldadura por movimiento de fricción de placas de aluminio.

Metodología usada: Un análisis de elementos finitos termo-mecánico en 3D se utiliza para evaluar las tensiones residuales causadas por la soldadura por el movimiento de fricción de 5.086 placas de aluminio. El modelo de elementos finitos

(FE) ha sido validado por el método de la perforación del agujero. Las tensiones residuales obtenidas del análisis FE luego se compararon con los obtenidos de la medición de la tensión de ultrasonidos. La técnica de medición ultrasónica se basa en elasticidad acústica ley que describe la relación entre las ondas acústicas y el estrés de material. La medición ultrasónica de estrés se lleva a cabo mediante el uso de refractados críticamente longitudinales (LCR) las ondas se propagan en paralelo a la superficie dentro de una profundidad efectiva. A través del espesor la distribución de tensiones residuales longitudinales se evalúa mediante el empleo de las olas producidas por LCR con diferentes frecuencias (1 MHz, 2 MHz, 4 MHz y 5 MHz) de transductores ultrasónicos. Utilizando el análisis FE junto con el método LCR (conocido como método FELCR), a través de la distribución del espesor de la tensión residual longitudinal se podría lograr.

Aplicación: La determinación de la tensión residual conduce a la predicción de resistencia a la fatiga soldada conjunta tiene una importancia estratégica para la mayoría de las aplicaciones en el sector aeronáutico, aeroespacial, automotriz y las industrias navales.

Las propiedades de ingeniería de los componentes estructurales, particularmente la Resistencia a la fatiga, deformaciones, estabilidad dimensional, resistencia a la corrosión, y la fractura por fragilidad pueden ser influenciadas de manera significativa por las tensiones residuales.

Resultados obtenidos: La comparación entre los resultados del ultrasonido y FE muestran un acuerdo aceptable, por lo tanto, el método FELCR podría aplicarse con éxito en las placas FSW. Se ha llegado a la conclusión de que las tensiones residuales longitudinales de placas de aluminio unidas por movimiento de fricción de soldadura pueden ser evaluadas utilizando el método FELCR. El buen potencial de FELCR como un método no destructivo también se confirma a través de la medición del espesor de estrés de placas de aluminio.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la tensión residual longitudinal a través del espesor de las placas de aluminio con 8 mm de espesor. Elementos finitos

de simulación de soldadura junto con el método ultrasónico LCR se emplea para alcanzar este objetivo. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que:

1. Se produjo un pico en la tensión residual longitudinal en el lado de avance (AS) de FSW. La posición del pico se pudo determinar mediante el empleo del método ultrasónico LCR.
2. Medición ultrasónica de tensiones residuales se valida con simulación por elementos finitos del proceso FSW mientras que se observa un acuerdo aceptable.
3. La pequeña diferencia entre la superficie y las tensiones residuales a granel (menos de 20 MPa) podría medirse mediante el uso de diferentes frecuencias de prueba en la medición ultrasónica. Esta muestra relativamente alta resolución del método ultrasónico en medio de la medición del estrés espesor de las placas de aluminio.
4. Según los resultados de este estudio, utilizando simultáneamente elementos finitos y el método de simulación de soldadura LCR (conocido como método FELCR) se puede evaluar a través del espesor la distribución de la tensión residual longitudinal en el proceso de FSW de placas de aluminio. El método FELCR también podría ser considerado como un método no destructivo para la medición de la tensión a través del espesor de los materiales.

Título original: Signal quality enhancement using higher order wavelets for ultrasonic TOFD signals from austenitic stainless steel welds

Título en Español: Mejora de la calidad de la señal utilizando ondas de orden superior para las señales ultrasónicas TOFD de soldaduras de acero inoxidable austenítico.

Año de publicación: 2013

Autores: Angam Praveen, K. Vijayarekha, Saju T. Abraham, B. Venkatraman

Objetivo: En este trabajo, las ondas de orden superior se utilizan para analizar el rendimiento de eliminación de ruido para señales TOFD obtenidos a partir de soldaduras de acero inoxidable austenítico. Se observa que la onda de orden superior permite dar una mayor mejora SNR en comparación con las ondas de menor orden.

Metodología usada: Técnicas de procesamiento de señales tales como procesamiento de espectro dividido, técnica de correlación y otras técnicas basadas en convertir Fourier y ondículas transformadas para mejorar la capacidad de detección de defectos. Filtrado de ondículas ha demostrado ser fiable en la mejora de la calidad de la señal debido a su alta correlación con respecto a las técnicas de ondas difractadas TOFD. En las primeras etapas de desarrollo de procesamiento de señales, ondas de orden inferior con menor número de coeficientes de filtro se utilizaron en señales ultrasónicas. En este trabajo, las ondículas de orden superior se utilizan para las señales ultrasónicas de las soldaduras de acero inoxidable austenítico y los resultados se compararon con respecto a las ondas de orden inferior.

Aplicación: Tiempo de difracción de vuelo técnica (TOFD) es una técnica de prueba ultrasónica de nuevo desarrollo, pero bien establecida que ha ganado popularidad en los últimos tiempos debido a su mayor capacidad de detección, posicionamiento y dimensionamiento de los defectos. Esta técnica ha sido ampliamente utilizado en el examen de las soldaduras de pared gruesa, especialmente en las centrales nucleares.

El acero inoxidable austenítico tiene importancia estructural en la industria nuclear, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y químicas.

Tiempo de difracción de vuelo técnica (TOFD) es un método bien desarrollado para ensayos no destructivos por ultrasonidos (NDT) y se ha aplicado con éxito para determinar el tamaño exacto de defectos en materiales metálicos. Esta técnica fue desarrollada a principios de 1970 como un medio para que el tamaño y el posicionamiento de grietas en componentes nucleares se hizo muy popular a finales

de 1990 y hoy en día se utiliza ampliamente en diversas industrias para la inspección de soldaduras. Una de las principales ventajas de TOFD es que, aparte de la técnica rápida, que proporciona una mayor probabilidad de detección de defectos lineales. Varios métodos de procesamiento de señales, tales como filtrado digital, Espectro dividido de procesamiento (Split Spectrum processing, SSP), transformada de Hilbert y las técnicas de correlación se han desarrollado con el fin de suprimir el ruido no deseado y mejorar la calidad de la señal de defecto que por lo tanto puede ser utilizado para la caracterización de los defectos y el materiales.

La principal ventaja de esta técnica es su mayor probabilidad de detección y la reducción de tiempo de inspección. Un escaneo más rápido también hace de TOFD una técnica preferida para aplicaciones de alta temperatura. Esto hace TOFD una herramienta necesaria en la inspección en servicio de los reactores nucleares, recipientes a presión, etc

Resultados obtenidos: El ruido estructural que surge debido a la interacción de las señales ultrasónicas de cereales secundarios de soldaduras de acero inoxidable austenítico disminuye la visibilidad de los defectos. En este trabajo se transforman las ondiculas discretas basándose en el método umbral que se utiliza como una herramienta de procesamiento de la señal para eliminar el ruido estructural por medio de señales TOFD junto con A-Scan por ultrasonido adquiridas de soldaduras de acero inoxidable austenítico. Ondiculas de orden superior con gran número de coeficientes de filtro se utilizaron. Estas ondas tienen gran cantidad de fugas en momentos de comparación con ondas de menor orden. Un estudio comparativo se realizó con ondiculas de Daubechies y familias Symlet. Varias señales fueron divulgadas mediante ondiculas de orden superior 'DB36' y se comparan con los valores de SNR obtenidos para 'db4'. de los resultados se concluye que las ondas de orden superior producen valores mayores de señal-ruido (signal-to-noise-ratio, SNR) en comparación con las ondas de menor orden y se pueden aplicar para eliminar el ruido de las señales TOFD de las soldaduras de acero inoxidable austenítico, pero a costa de mayor tiempo de cálculo.

Título original: Decision support system for ultrasound inspection of fiber metal laminates using statistical signal processing and neural networks

Título en Español: Sistema de apoyo a las decisiones para la inspección por ultrasonidos de laminados de fibra de metal utilizando el procesamiento estadístico de señales y redes neuronales

Año de publicación: 2013

Autores: Eduardo F. Simas Filho, Yure N. Souza, Juliana L.S. Lopes, Cláudia T.T. Farias, Maria C.S. Albuquerque.

Objetivo: Este trabajo tiene como objetivo la detección automática de defectos (tales como fractura de la fibra y la delaminación) en materiales compuestos laminados de fibra de metal a través de pruebas de ultrasonido en la configuración de pulso-eco de inmersión.

Metodología usada: Para ello, una red neuronal basada en un sistema de apoyo a las decisiones fue diseñado. La etapa de pre-procesamiento (extracción de características) comprende la transformada de Fourier y las técnicas de procesamiento de señales estadísticas (Análisis de componentes principales y análisis de componentes independientes) con el objetivo de extraer información discriminante y reducir la redundancia en el conjunto de características.

Aplicación: El crecimiento de la industria aeroespacial ha motivado el desarrollo de materiales alternativos. Los materiales compuestos laminados de fibra de metal (fiber metal laminate, FML) pueden sustituir a las aleaciones de aluminio monolíticas en los aviones de la estructura, ya que presentan algunas ventajas, tales como una mayor rigidez, menor densidad y mayor vida útil. Sin embargo, una gran variedad de modos de deformación puede provocar fallos en estos compuestos y los mecanismos de degradación son difíciles de detectar en las primeras etapas a través de la inspección ultrasónica regular

Laminados de fibra de metal (FML) constan de materiales compuestos de hojas delgadas de metal alternativamente unidas con capas delgadas de polímeros reforzados con fibras. FML tiene propiedades específicas, tales como la baja densidad, resistencia a los impactos y a la corrosión y por lo tanto se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial. La FML permite la reducción de peso y el ahorro en el consumo de combustible y mantenimiento.

Resultados obtenidos: Sus diversos modos de deformación y su estructura física en capas múltiples hacen la detección de defectos en las primeras etapas una tarea difícil. En este trabajo se propone un sistema de apoyo a la decisión automática para ayudar al inspector en la identificación de los diferentes tipos de defectos que puedan aparecer en FMLs. Para ello, una cadena de procesamiento de señales que comprende dos etapas distintas (extracción de características y prueba de hipótesis) fue diseñada. Para la extracción de características, las señales adquiridas se transforman al dominio de frecuencia y procesados por técnicas estadísticas (tales como PCA e ICA) con el fin de eliminar la redundancia y reducir el ruido de fondo. La etapa de prueba de hipótesis (clasificación) se realizó mediante dos clasificadores lineales y neurales. Las técnicas de extracción de características aplicadas fueron capaces de revelar la estructura subyacente de los datos que producen altas eficiencias de discriminación. Esto se puede observar en particular cuando se utiliza un discriminador lineal. En esta configuración, la eficiencia se ha mejorado considerablemente mediante el uso de transformaciones de PCA e ICA. En el caso del pre procesamiento ICA, los resultados de la clasificación eran bastante similares a los obtenidos cuando se utilizan los discriminadores no lineales, pero con requisitos computacionales considerablemente inferiores. Teniendo en cuenta los clasificadores neuronales, el procesamiento previo ICA también contribuye a producir eficiencias de discriminación superiores, logrando $EP = 0.998$ y la reducción de la clasificación errónea de las señales de defectos de 0,16%. En este contexto, PCA resultó ser también muy eficiente para la compactación de la señal como un discriminador neural alimentado desde sólo los cinco componentes más energéticos fue capaz de presentar una alta precisión a la discriminación ($EP = 0,993$).

Título original: Comparison between contact and immersion ultrasonic method to evaluate welding residual stresses of dissimilar joints

Título en Español: Comparación entre el contacto y el método de inmersión ultrasónica para evaluar las tensiones residuales de soldadura de uniones disimilares

Año de publicación: 2013

Autores: Yashar Javadi, Mehdi Ahmadi Najafabadi

Objetivo: El objetivo principal de este estudio es la comparación entre el contacto y inmersión ultrasónica para mediciones de soldadura de tensiones residuales en uniones heterogéneas.

Metodología usada: Longitudinal críticamente refractada (Longitudinal critically refracted, LCR) una onda propagada por contacto de 2 MHz y transductores de inmersión ultrasónica se emplea para medir las tensiones residuales. Un elemento finito (FE) es un modelo de proceso de soldadura, el cual es validado por el método de perforación de un agujero, se utiliza para verificar los resultados de ultrasonidos mientras se logra un acuerdo aceptable. El mejor acuerdo se observa en el material de matriz mientras que la diferencia máxima se mide en la zona afectada por el calor (heat affected zone, HAZ).

Aplicación: Medición de la tensión por ondas ultrasónicas es un método no destructivo, fácil de usar, y razonablemente barato usado en algunas aplicaciones industriales recientemente.

Resultados obtenidos: Los resultados no muestran ninguna diferencia considerable entre el uso de contacto y transductores de inmersión ultrasónica en la medición de tensión en uniones disimilares.

Una combinación de simulación de elementos finitos de soldadura y ondas ultrasónicas LCR se emplea para alcanzar este objetivo. Según los resultados obtenidos, se puede concluir que:

1. Las mediciones ultrasónicas de uniones disimilares muestran un acuerdo aceptable con el análisis de elementos finitos. El mejor acuerdo se observa en el material de matriz mientras que la diferencia máxima se mide en la HAZ.
2. Las mediciones ultrasónicas de inmersión muestran una mejor concordancia con los resultados de FE en comparación con el método de contacto.
3. La medición sin contacto lleva más tiempo que la inspección que la inmersión en el caso de los tubos soldados disímiles mientras que la situación es la inversa en placas soldadas disímiles.
4. El uso de algunos de los equipos de consumo (como célula de carga, el sistema de monitorización de la temperatura y la segunda sonda de receptor) no son necesarios en las mediciones de inmersión debido a los efectos ambientales son más controlable en comparación con la inspección de contacto.
5. No se recomienda el uso de la medición ultrasónica de estrés en las articulaciones disímiles de materiales que sus propiedades ultrasónicas son muy diferentes.
6. No hay diferencia significativa entre el uso de contacto y las ondas de LCR de inmersión en las mediciones ultrasónicas de estrés de uniones disimilares. Ambos de ellos podría medir la tensión residual con una precisión aceptable. Seleccionar entre ellos depende de la geometría y dimensiones de la estructura probada y también los dispositivos experimentales disponibles.

Título original: Defect detection using ultrasonic arrays: The multi-mode total focusing method

Título en Español: Detección de defectos utilizando matrices de ultrasonidos: método multi-modo de enfoque total

Año de publicación: 2010

Autores: Jie Zhang, Bruce W. Drinkwater, Paul D. Wilcox, Alan J. Hunter

Objetivo: En este trabajo una metodología de formación de imágenes en general, denominado método multi-modo de enfoque total, se propone en la que cualquier combinación de modos y reflexiones se puede utilizar para producir una imagen de la estructura de la prueba.

Metodología usada: Al igual que el método total de enfoque, este enfoque es implementado por post-procesamiento de la matriz completa de los datos de la matriz para lograr un enfoque sintético en cada píxel de la imagen. Un modelo híbrido se utiliza para predecir los datos de la matriz y demostrar el rendimiento del concepto de formación de imágenes multi-modo. Este modelo híbrido combina campo de dispersión de matrices de coeficientes lejanos con un modelo de propagación de ondas basado en rayos. Esto permite la inclusión de las ondas longitudinales, ondas de corte y conversiones en modo de onda. Se muestra que, con el conocimiento previo de la ubicación probable dispersor y la orientación, la combinación de modo y posición de la tabla se pueden optimizar para maximizar el rendimiento de las inspecciones de matriz.

Aplicación: El uso de matrices de ultrasonidos para inspeccionar estructuras sólidas ha visto un aumento espectacular en los últimos años debido a su capacidad de realizar inspecciones múltiples con un solo transductor, así como proporcionar una imagen en cada ubicación.

Resultados obtenidos: El modelo híbrido ha sido utilizado para predecir la matriz completa de los datos de la matriz. Este modelo combina el rayo con FE o modelo analítico para predecir las matrices de coeficientes de dispersión de campo lejano del dispersor de interés.

Una matriz de contactos se utiliza para detectar un número de $1 \times 3 \text{ mm}^2$ ranuras y en general una buena concordancia entre la simulación y los resultados experimentales se logró. La relación señal-ruido se utilizó para evaluar el rendimiento de cada configuración de la inspección, tanto para $1 \times 3 \text{ mm}^2$ ranuras y

unas cero grietas de 3 mm de ancho. Se demostró que este enfoque de modelado podría ser utilizado para localizar de manera óptima una matriz en un escenario de inspección realizada por el posicionamiento para maximizar la relación señal-ruido. Esta ubicación óptima de matriz ha demostrado ser dependiente de una interacción compleja entre la cobertura angular, la distancia de inspección, el ángulo elemento de dispersión del haz, y el tipo de defecto y la orientación (como codificado por las matrices de coeficiente de dispersión). Esta compleja interacción significa que las regiones óptimas SNR pueden ser no especular y por lo tanto exhibir variación no monótona de la amplitud dispersada con longitud de la grieta, por lo tanto haciendo encolante a base de amplitud poco fiable. Para evitar este problema, la matriz debe ser colocada en un lugar donde la cobertura angular incluye las grandes áreas de amplitud en el correspondiente a las regiones especulares de las matrices de dispersión. Esto no necesariamente optimiza SNR, pero si asegura un aumento monótonico en amplitud dispersa con longitud de la grieta y por lo tanto facilita el dimensionamiento.

Recomendaciones: Sin embargo, futuras mejoras en la velocidad de cálculo, procesamiento paralelo y optimizado de codificación podría tener como resultado reducciones significativas en el tiempo de cálculo.

Título original: The study on defects in aluminum 2219-T6 thick butt friction stir welds with the application of multiple non-destructive testing methods

Título en Español: El estudio sobre defectos en aluminio 2219-T6 soldaduras por fricción-agitación a tope de espesor con la aplicación de múltiples métodos de ensayos no destructivos

Año de publicación: 2011

Autores: Bo Li, Yifu Shen, Weiye Hu

Objetivo: El presente estudio se centró en la relación entre los parámetros del proceso de soldadura por fricción-agitación primaria y varios tipos de defectos de soldadura descubiertos en aluminio 2219-T6 por fricción-agitación a tope en

soldaduras de chapas gruesas, mientras tanto, los defectos de soldaduras formados por mecanismos fueron investigados.

Metodología usada: Además de una serie de exámenes metalográficos ópticos para soldaduras a tope por fricción-agitación, múltiples métodos de ensayos no destructivos, incluyendo la detección de rayos X, pruebas de ultrasonidos C-scan, de inspección de elementos en fase de ultrasonidos e inspección de líquidos penetrantes fluorescentes se utilizan con éxito con el objetivo de examinar las formas y posible existencia de las ubicaciones de los diferentes defectos de soldadura. Sobre la base de la ley de conservación de volumen en la deformación plástica de material, se propuso un criterio empírico simple para estimar la existencia de defectos de pérdida de materialistas interiores. Juntas a tope sin defectos se obtuvieron después de la optimización de procesos de soldadura por fricción de las placas de aluminio 2219-T6 de 17-20 mm de espesor.

En este estudio, la optimización del proceso FSW, el análisis del mecanismo de formación de defectos de soldadura, los examinacion de los defectos en microestructuras ópticas, las partículas de segunda fase de análisis EDAX, aplicación de múltiples métodos de ensayos no destructivos, propiedades de tracción de investigación, y la superficie de fractura de observación SEM se llevaron a cabo.

Aplicación: 2219-T6 aleación de aluminio, en el que fase de fortalecimiento de Al^2Cu , tiene una combinación única de propiedades tales como una buena soldabilidad, alta relación resistencia al peso, resistencia a la corrosión bajo tensión y las propiedades criogénicas superiores, y por lo tanto ha sido ampliamente utilizado en las aplicaciones aeroespaciales, especialmente en la construcción de los tanques de combustible de cohetes criogénicos líquidos. END juega un papel crucial en los campos industriales, especialmente en el sector aeroespacial, de la automoción, ferrocarril, generación de energía, la estructura del buque y tanques de presión petroquímica.

Basado en técnicas que se aplican en los principios físicos para determinar las características de los materiales, siempre contribuye a detectar y evaluar fallas o defectos dañinos sin cambiar la capacidad de servicio o utilidad de dichos materiales. Como una manera intuitiva, END tiene grandes ventajas en garantizar una alta operación rentable, fiable y seguro para una amplia gama de aplicaciones. Ciertamente, múltiples métodos de END también se pueden aplicar en el control de calidad de las uniones FSW. Técnicas de END no sólo puede hacer la detección de una soldadura completa con el objetivo de ser adecuado para su uso en su aplicación final, sino también favorecer la evaluación en tiempo real de la soldadura, ya que se esté haciendo y, finalmente, el ajuste de los parámetros de soldadura para corregir las anomalías detectadas.

La aplicación de múltiples técnicas de END puede favorecer el control de la calidad de FSW y la evaluación posteriormente

Resultados obtenidos: Experimentos de proceso demostraron que, además de la velocidad de rotación de la herramienta y la velocidad de desplazamiento, otras variables de los parámetros de proceso más adecuado jugaron un papel importante en la formación de soldaduras por fricción-agitación de alta calidad, tales como la profundidad herramienta-hombro blanco, ángulo de inclinación del eje, y dispositivo de sujeción en las condiciones las piezas de trabajo.

Sobre la base de los actuales resultados y discusión, las siguientes conclusiones se pueden obtener:

1. Los parámetros del proceso FSW en forma adecuada favorecen para evitar defectos de soldadura tales como túnel, nula grande o pequeña, porosidad, opresión en el defecto, ranura superficial, flash excesiva, línea en zigzag, y la grieta como raíz defecto. Parámetros primarios incluyendo velocidad de la herramienta de rotación, velocidad de desplazamiento, herramienta de profundidad de inmersión, el ángulo de inclinación del eje y accesorio condición de sujeción deben ser todos considerados durante FSW.

2. Interior de material de pérdida de tipo de defecto de las juntas a tope FSW corresponde a una relación de equilibrio de masa o volumen de conversión. Defectos de materiales de pérdida ocurren durante el proceso de FSW debido a la mala migración de plástico deformado el material de flujo, o entrada insuficiente calor generado por la herramienta / pieza de trabajo fuente de calor por fricción y calor material plástico deformado. Incluso, por lo tanto, ambos de los dos mecanismos primarios siempre acoplados a producir defectos FSW. Especialmente para las juntas a tope FSW gruesas, la parte inferior de la sección de soldadura se inclina a la formación de porosidad que carece de la fuente de calor de fricción.
3. Métodos de ensayos no destructivos como detección de rayos X, las pruebas C-exploración ultrasónica, inspección por agrupación de fase ultrasónica y la inspección por líquido penetrante fluorescente puede aplicar con éxito en el control de calidad de las uniones FSW sin destruir material de soldadura. Sin embargo, cada tipo de técnica de END tiene sus límites. Pruebas C-scan por ultrasonidos pueden hacerlo bien en porosidad y en diminutos huecos para las articulaciones FSW, mientras que la inspección de líquidos penetrantes fluorescentes es adecuado para revelar los flujos escondidos como grietas.
4. Cuando el flujo de grietas raíz es más profundo que un grado constante, las longitudes variables de raíz-defectos tienen efecto de degradación de identificación en la resistencia a la tracción de la soldadura, pero la curva de relación no es lineal. La raíz fluye promoviendo la tasa de iniciación de grietas y la propagación de grietas bajo la constant

Título original: Ultrasonic and structural characterization of anisotropic austenitic stainless steel welds: Towards a higher reliability in ultrasonic non-destructive testing

Título en Español: Ultrasonidos y caracterización estructural de soldaduras de acero inoxidable austeníticos anisotrópicos: Hacia una mayor fiabilidad en los ensayos no destructivos por ultrasonidos

Año de publicación: 2010

Autores: B. Chassignole, R.ElGuerjouma, M.-A.Ploix, T.Fouquet

Objetivo: El objetivo es conseguir un mejor modelado de la atenuación y los fenómenos de dispersión de fondo.

Metodología usada: En este trabajo, presentamos varios resultados experimentales de prueba ultrasónica de dos soldaduras austeníticas que exhiben alta anisotropía. A fin de explicar la pantalla observada de los fenómenos de propagación de la onda tales como la desviación del haz, utilizamos el modelado de elementos finitos. El modelado se asocia con una caracterización completa de las soldaduras inspeccionadas.

Aplicación: Dos características esenciales de las soldaduras están decididos: las constantes elásticas promedio de la soldadura y las orientaciones de grano. La capacidad del modelo se ilustra en diferentes configuraciones de prueba. Este trabajo asociando a la caracterización estructural y modelado muestra que una mejor comprensión de los fenómenos de propagación de ultrasonidos debe permitir la interpretación y la fiabilidad de las inspecciones industriales de soldaduras anisotrópicos heterogéneos para mejorar.

Es importante señalar que este enfoque de modelado puede aplicarse a las soldaduras industriales que presentan una estructura más heterogénea que los que se consideran aquí.

Resultados obtenidos: Códigos de modelado como ATHENA son entonces herramientas muy útiles para explicar y predecir los fenómenos de propagación. Sin embargo, es necesario describir con suficiente exactitud la estructura de soldadura. Estas descripciones pueden ser proporcionados de diferentes métodos de caracterización: difracción de rayos X para el análisis de la textura cristalográfica, las mediciones de las velocidades de ultrasonidos para determinar las propiedades elásticas y de procesamiento de imágenes en fotomicrografías para evaluar la heterogeneidad de la soldadura. Para evitar análisis destructivo, puede ser posible

utilizar modelos del proceso de soldadura (tales como MINA [9,25]) para predecir la estructura anisotrópica. Por otra parte, se demostró que la atenuación ultrasónica fue subestimada en el modelado con esta versión del código de Athena que no toma en cuenta la dispersión de ultrasonidos. Finalmente, este trabajo muestra que una mejor comprensión de los fenómenos de propagación de ultrasonidos debe permitir la interpretación y la fiabilidad de las inspecciones industriales de esas soldaduras a mejorar.

4.3.1 Análisis comparativo de los métodos de END por ultrasonido

Con el fin de evaluar los usos y aplicaciones de diferentes tipos de métodos con ultrasonido para pruebas no destructivas de soldadura, se elaboró una tabla comparativa a partir de la información recopilada en las publicaciones (Tabla 5):

Tabla 5. Comparación entre los diferentes métodos publicados los últimos 5 años

	Método TOFD	Método TOFDW	Método de ondas de orden superior y TOFD	Método SAFT	Método FSM	Método de separación de frecuencia (MFS)
Detección de defectos	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicación	Ha demostrado ser muy eficaz para la inspección de las placas de acero, tuberías tubulares y tanques	Técnica complementaria a de TOFD, se puede realizar fácilmente sin necesidad de equipo auxiliar	Especialmente en centrales nucleares y diversas industrias. Utilizado en aplicaciones de alta temperatura	Utilizado en centrales nucleares, además SAFT es más adecuado como un método de análisis que TOFD	La precisión y la eficacia de la inspección no destructiva existentes tales como las pruebas de ultrasonidos no es tan alto porque la estructura de la inspección objetivo es compleja y la zona de inspección es demasiado amplia.	Estructuras de ingeniería derivados de los procesos de fabricación como la soldadura, forja, doblado, y las operaciones de mecanizado
Materiales	Acero, Tuberías tabulares y tanques	Acero	Acero inoxidable austenítico, materiales metálicos	N.D.	Acero	Muestras uniaxiales, aluminio, acero al carbono (especialmente de acero soldadas)
Tipo de defectos	Pared gruesa y geometría simple (mayor profundidad en grietas inclinadas)	Pared gruesa y geometría simple (mayor profundidad en grietas inclinadas)	Pared gruesa, defectos lineales	Defectos típicos (grietas, exfoliaciones, etc.)	Grietas por fatiga	Tensiones residuales y paredes delgadas
Limitación	No útil para geometría compleja y paredes delgadas	Soldaduras con 2mm de profundidad pueden ser detectada eficazmente y la ubicación se puede medir dentro de un error de 0.5mm	N.D.	No útil para piezas de gran tamaño y orientación de defectos	N.D.	3% en margen de error para detección y no incluye el efecto de la frecuencia
Posicionamiento del defecto	N.D.	Si	Si	Si	Si	N.D.
Tamaño	Si	Si	Si	Si	N.D.	N.D.
Tiempo de inspección (cálculo)	Rápido	Rápido	Regular	Lento	N.D.	N.D.
Interpretación de resultados	Difícil	Difícil	N.D.	Fácil (presenta diagramas muy ilustrativos)	N.D.	N.D.
Precisión	-Medio para detección -Bajo para tamaño	N.D.	Alto para detección	-Alto para detección -Medio para tamaño	N.D.	Alto en detección

	Método de emisión magnética de barkhausen	Método de matriz dispersa	Métodos SPA y TUNL	Método triaxial, biaxial y uniaxial	Método I-TOFD	Método multi-modo de enfoque total
Detección de defectos	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicación	Industria	Automatiza la detección de grietas	Industria aeroespacial, la energía renovable, la tecnología en alta mar, el automóvil y el sector del ocio.	N.D	Para altas temperaturas y también como control real de soldaduras en subconjuntos hexcan de un reactor reproductor de prototipos	El uso de matrices de ultrasonidos para inspeccionar estructuras sólidas ha visto un aumento espectacular en los últimos años debido a su capacidad de realizar inspecciones múltiples con un solo transductor, así como proporcionar una imagen en cada ubicación.
Materiales	Micro estructuras y aceros ferromagnéticos	Acero	Acero	Placas, coquillas, paredes gruesas de láminas.	Placas de acero inoxidable	Aluminio
Tipo de defectos	Geometría compleja	Grietas	SPA: Grietas, Defectos y exfoliaciones. TUNL: micro grietas y uniones débiles	Tensión en espesores y de paredes delgadas miembros estructurales y en las capas cercanas a la superficie de los materiales.	Defectos en secciones gruesas y placas delgadas	Grietas
Limitación	N.D	No útil para estructuras grandes	Inspección difícil de CFRP debido a la anisotropía elástica de estos materiales compuestos, no útil para dispersión, inclinación del haz, y la distorsión de campo de sonido	N.D	Espesor mínimo examinado es de 7mm-	N.D
Posicionamiento del defecto	N.D	Si	Si	N.D	Si	Si
Tamaño	N.D	Si	Si	N.D	Si	Si
Tiempo de inspección (cálculo)	Rápida	N.D	N.D	N.D	Rápido	Lento
Interpretación de resultados	N.D	Difícil	N.D	N.D	Fácil	N.D
Precisión	N.D	Alta en detección	N.D	N.D	N.D	N.D

	Comparación entre método de contacto e Inmersión (LCR)	Método de perforación de agujero y ondas LCR	Método LCR y elementos finitos (FELCR)	Técnicas Eddy actuales y ultrasonido	Sistema de procesamiento estadístico de señales y redes neuronales	Técnicas no lineales
Detección de defectos	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicación	Aplicaciones industriales para uniones disimilares (seleccionar entre ellos depende de la geometría y dimensiones de la estructura)	Mide los cambios de esfuerzos en las soldaduras incluyendo la zona afectada de calor	Para placas con soldadura por fricción (FSW) en el sector aeronáutico, aeroespacial, automotriz y las industrias navales.	Son ampliamente utilizados para aplicaciones estructurales (sobre todo en la industria aeroespacial y automotriz) debido a sus buenas propiedades mecánicas.	Detección automática. Los operadores de ultrasonido se beneficiarían de un sistema de apoyo a la decisión automática diseñada para proporcionar información sobre la integridad FML basado en señales ultrasónicas	La degradación en las propiedades de materiales en la fase temprana con el fin de garantizar su seguridad estructural.
Materiales	Tubos soldados (el método de contacto)	Acero	Placa de aluminio (para materiales de 8mm de espesor)	Aleaciones de aluminio serie 2xxx (AA 2014, AA 2024 y AA 2219)	Laminados de fibra de metal o FML (mayor rigidez, menor densidad y mayor vida útil que las aleaciones de aluminio)	Materiales metálicos y no metálicos (incluso el cuerpo humano)
Tipo de defectos	Tensión o estrés residual	Tensión o estrés residual	Tensión o estrés residual (resistencia a la fatiga)	Micro-dureza, pruebas de tensión, microscopía electrónica de barrido óptico o etc	Detección automática (fractura de fibra y de laminación)	Fatiga, envejecimiento, o grietas cerradas, micro daños etc.
Limitación	No se recomienda el uso de la medición ultrasónica de estrés en las articulaciones disímiles de materiales que sus propiedades ultrasónicas son muy diferentes	N.D	N.D	N.D	Limitados a variedad de deformaciones que pueden provocar fallos y los mecanismos de degradación pueden ser difíciles de detectar en las primeras etapas de inspección.	N.D
Posicionamiento del defecto	N.D	N.D	Si	N.D	Si	N.D
Tamaño	Si	N.D	Si	N.D	Si	N.D
Tiempo de inspección (cálculo)	Contacto: Lento para tubos y rápido para placas Inmersión: Rápido para tubos y lento para placas	N.D	Medio	N.D	N.D	Si
Interpretación de resultados		N.D	N.D	N.D	Difícil	N.D
Precisión	Medio para detección	N.D	Medio para detección Medio para tamaño	N.D	Alta para detección	Alto para detección (para geometría definida y homogénea)

	Modelado para la caracterización estructural de soldaduras de acero (austeníticos anisotrópicos)	Aplicación AAs	Técnica - Guía artificial de redes neuronales ANN
Detección de defectos	Si	Si	Si
Aplicación	Este trabajo asociando a la caracterización estructural y modelado muestra que una mejor comprensión de los fenómenos de propagación de ultrasonidos debe permitir la interpretación y la fiabilidad de las inspecciones industriales de soldaduras anisotrópicos heterogéneos	Obtención de imágenes de defectos durante END automatizado	El técnico reduce el tiempo empleado en la clasificación de las señales de defectos mediante la clasificación automática
Materiales	Acero	Acero	Placas de acero inoxidable
Tipo de defectos	N.D.	Identifica cualquier tipo de defecto	Porosidad, falta de fusión, y la inclusión de tungsteno
Limitación	N.D.	Resolución frontal degrada con la distancia y enfoque de línea aumenta	N.D.
Posicionamiento del defecto	Si	Si	Si
Tamaño	Si	Si	Si
Tiempo de inspección (cálculo)	N.D.	N.D.	N.D.
Interpretación de resultados	N.D.	N.D.	N.D.
Precisión	Alta para detección Media para tamaño	N.D.	N.D.

N.D = Información No Disponible

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la vigilancia tecnológica realizada

CONCLUSIONES

El uso de los END por ultrasonido en soldadura se encuentran al margen del día en diferentes sectores, entre ellos la industria aeroespacial, automotriz, construcción, manufactura, ingeniería nuclear, petroquímica, etc. en cada una de ellas se aplican ensayos no destructivos que son indispensables para obtener un cierto grado de fiabilidad de las piezas soldadas y es por ese motivo que en este trabajo se realizó un análisis y una evaluación comparativa entre las distintas técnicas, métodos o modelos de END por ultrasonido que pueden asegurar a la empresa un mejor provecho en sus materiales, así como los tipos de defectos, posicionamiento del defectos, tamaño del defectos, interpretación de resultados, precisión de la inspección, etc. |

Los resultados de esta investigación se compartirán con la empresa Tecnodi Advance S.A de C.V., con el fin de conocer diversos procesos y técnicas de END por ultrasonido industrial que puedan aplicarse como una herramienta para asegurar la calidad de sus procesos de soldadura.

En el análisis del estado del arte se obtuvo que Francia e India son los países que más han publicado investigaciones sobre técnicas, métodos o modelos de ultrasonido para END para soldadura, les siguen países como Alemania, Irán y China con buen nivel de avance, mientras que otros países (Japan, Korea, Canada, Pakistan, Ukraine, Russia, England, Algeria, South Korea, USA, Brazil) están muy por detrás. Entre las universidades que más han publicado investigaciones son son Unív Europeenne Bretagne, Ecole Mines Douai, EDF R&D (Francia) y Indira Gandhi Ctr Atom Res, Mepco Schlenk Engn Coll, SASTRA University (India)

Además cabe mencionar algunas tendencias sobre las aplicaciones por ultrasonido en END relacionadas con la industria:

- Técnicas no lineal ultrasónica para la evaluación no destructiva de daño en micro materiales

- El potencial de la medición ultrasónica no destructiva de las tensiones residuales
- Evaluación del estrés residual en uniones soldadas disimilares utilizando simulación por elementos finitos y la onda ultrasónica LCR.
- Sistemas de apoyo a las decisiones para la inspección por ultrasonidos de laminados de metal con fibra utilizando el procesamiento estadístico de señales y redes neuronales

Las publicaciones más pertinentes de acuerdo al número de veces citado son:

1. Detección de defectos utilizando matrices de ultrasonidos: método multi modo de enfoque total (27 citas)
2. El estudio sobre defectos en aluminio 2219-T6 en soldaduras por fricción-agitación a tope de espesor con la aplicación de múltiples métodos de ensayos no destructivos (18 citas)
3. Clasificación automática de defectos en ultrasonidos de END usando inteligencia artificial (12 citas)
4. Efecto de la microestructura sobre la onda elástica LCR para soldadura residual de medición estrés (11 citas)
5. Ultrasonidos y caracterización estructural de soldaduras de acero inoxidable austeníticos anisotrópicos: Hacia una mayor fiabilidad en los ensayos no destructivos por ultrasonidos (11 citas)

Algunas de las recomendaciones de los autores sobre el futuro del uso del ultrasonido industrial para END:

- El mejoramiento de la resolución temporal de los datos de TOFDW se estudiará en un futuro próximo.
- Uno podría ser capaz de obtener el perfil de tensión residual a lo ancho en el futuro mediante la medición de la MFS con múltiples ángulos incidente simultáneamente.

- Estas investigaciones sugieren un avance hacia la detección no destructiva y caracterización de propiedades de los materiales cuando los métodos de prueba convencionales no son aplicables.
- El trabajo futuro consiste en realizar el método, SSP para distinguir entre dos señales cercanas.

REFERENCIAS

Carrasco, Victor "Ing. Mecánica – Tecnología Mecánica II", [en línea]. 2004, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/>

Hernández Riesco, German. "Manual del Soldador", [en línea]. 2012, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: <http://es.scribd.com/doc/20606669/Soldadura-Libro-de-Manual-Del-Soldador-Editorial-Cesol-Ocr>

Asta, Eduardo. "Fundación latinoamericana de soldadura", [en línea]. 2006, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: <http://www.ib.cnea.gov.ar/~mater2/MATERIALESII/Libro%201.pdf>

Mercedes, Grijalvo. Bernardo, Pridal. "La calidad en el sector aerospacial. Normativa y esquema de certificación", [en línea]. 2005, [4 de Agosto de 2014]. Disponible en la Web: <http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2005/items/ponencias/134.pdf>A.C.S.; Asociación Colombiana de soldadura, Preparación para la calificación y certificación de inspectores de construcciones soldadas. Capítulos 4, 5, 8. Colombia (2003).

ANSI/AWS B1.11-2000. American Welding Society. Guide for the Visual Inspection of Welds (2000)

ASME - Boiler and pressure vessel, section IX – Qualification standard for welding and brazing procedure, welders, brazers, and welding and brazing operator. 13-190. USA. (2004).

Niebles, Enrique. Arnedo, William "Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria", [en línea]. 2009, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>

Casals, Jasmina. Salueña, Xavier. Ortiz, José A. "Calidad en el proceso de unión por soldadura", [en línea]. 2003, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/8527-Calidad-en-el-proceso-de-union-por-soldadura.html>

Ruiz Rojas, Paola Andre, "Calidad en la Soldadura: Inspección y Detección con Ensayos No Destructivos", [Revista Metal Actual]. 2003, [16 de Junio de 2014]. Disponible en la Web: http://www.metalactual.com/revista/23/procesos_soldadura.pdf

Torres, Alfonso. "El planteamiento de problemas de investigación social", Bogotá, UPN, Icfes, noviembre de 2001 (documento sin publicar).

Vargas Guillén, Germán. "Las líneas de investigación: de la posibilidad a la necesidad", en Desarrollo de líneas de investigación a partir de la relación docencia e investigación en la Universidad Pedagógica Nacional. Encuentro Interno de Investigadores, Bogotá, CIUP-UPN, 1999.

Jorge Orlando Melo. "Los estudios históricos en Colombia: situación actual y tendencias predominantes", en U.N. Revista de la Dirección de Divulgación Cultural, Nº 2, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1969.

(Aenor, 2006) AENOR. UNE 166006:2006 EX: Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica. Final, UNE, 2006.

(Garbosa; Soriano, 2008) Juan Garbajosa Sopena and Francisco Javier Soriano Camino. Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid "Tecnologías software orientadas a servicios". Technical report, Fundación Madrid para el Conocimiento, Madrid, 2008.

(Valero, et al, 2007) Miguel A. Valero, José A. Sánchez, and Ana Belén Bermejo. Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid "Servicios y tecnologías de tele asistencia:

tendencias y retos en el hogar digital". Technical report, Fundación Madrid para el Conocimiento, Madrid, 2007.

(Rojas, 2011) José Pablo Rojas W. "La Vigilancia Tecnológica como Herramienta de Competitividad e Innovación". Éxito Empresarial / No. 154, San José, Costa Rica, 2011